KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET, DAN TEKNOLOGI
REPUBLIK INDONESIA
2022

DASAR-DASAR TEKNIK PESAWAT UDARA

Semester 1



Maruli Tua, Asep Gunawan
2022

SMK/MAK KELAS X

Buku Siswa Dasar-Dasar Teknik Pesawat Udara untuk SMK/MAK Kelas X

Penulis
Maruli Tua
Asep Gunawan

Penelaah
Ariasari Anggraeni
Utsman Syah Amrullah
Aida Fitriyani
Tri Susilo

Penyelia/Penyelaras
Supriyatno
Wardani Sugiyanto
Mochamad Widiyanto
Wijanarko Adi Nugroho
Ria Triyanti

Kontributor
Nur Wahid Fahrun Rianto
Dwi Fathonah

Editor
Harris Syamsi Yulianto
Ida Mamluah
Ahmad Budiman

Ilustrator
Rio Ari Seno (Kover), Daniel Tirta Ramana (Isi), M. Agung Prabowo

Desainer
Achmad Syarif

Penerbit
Penerbitan bersama antara Direktorat Sekolah Menengah Kejuruan dan Pusat Perbukuan
Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi
Jalan Jenderal Sudirman Komplek Kemendikbudristek, Senayan, Jakarta 10270
https://buku.kemdikbud.go.id

Cetakan pertama, 2022
ISBN: 978-623-388-011-4 (PDF)

Isi buku ini menggunakan huruf Noto Serif 10/15 pt
xvi, 256 hlm., 17,6 x 25 cm.

Kata Pengantar

Pusat Perbukuan; Badan Standar, Kurikulum, dan Asesmen Pendidikan; Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi memiliki tugas dan fungsi mengembangkan buku pendidikan pada satuan Pendidikan Anak Usia Dini, Pendidikan Dasar, dan Pendidikan Menengah, termasuk Pendidikan Khusus. Buku yang dikembangkan saat ini mengacu pada Kurikulum Merdeka. Kurikulum ini memberikan keleluasaan bagi satuan/program pendidikan dalam mengimplementasikan kurikulum dengan prinsip diversifikasi sesuai dengan kondisi satuan pendidikan, potensi daerah, dan peserta didik.

Pemerintah dalam hal ini Pusat Perbukuan mendukung implementasi Kurikulum Merdeka di satuan pendidikan dengan mengembangkan buku siswa dan buku panduan guru sebagai buku teks utama. Buku ini dapat menjadi salah satu referensi atau inspirasi sumber belajar yang dapat dimodifikasi, dijadikan contoh, atau rujukan dalam merancang dan mengembangkan pembelajaran sesuai karakteristik, potensi, dan kebutuhan peserta didik.

Adapun acuan penyusunan buku teks utama adalah Pedoman Penerapan Kurikulum dalam rangka Pemulihan Pembelajaran yang ditetapkan melalui Keputusan Menteri Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Nomor 56/M/2022, serta Keputusan Kepala Badan Standar, Kurikulum, dan Asesmen Pendidikan Nomor 033/H/KR/2022 tentang Perubahan Atas Keputusan Kepala Badan Standar, Kurikulum, dan Asesmen Pendidikan Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Nomor 008/H/KR/2022 tentang Capaian Pembelajaran pada Pendidikan Anak Usia Dini, Jenjang Pendidikan Dasar, dan Jenjang Pendidikan Menengah pada Kurikulum Merdeka.

Sebagai dokumen hidup, buku ini tentu dapat diperbaiki dan disesuaikan dengan kebutuhan dan perkembangan keilmuan dan teknologi. Oleh karena itu, saran dan masukan dari para guru, peserta didik, orang tua, dan masyarakat sangat dibutuhkan untuk pengembangan buku ini di masa yang akan datang. Pada kesempatan ini, Pusat Perbukuan menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah terlibat dalam penyusunan buku ini, mulai dari penulis, penelaah, editor, ilustrator, desainer, dan kontributor terkait lainnya. Semoga buku ini dapat bermanfaat khususnya bagi peserta didik dan guru dalam meningkatkan mutu pembelajaran.

Jakarta, Juni 2022
Kepala Pusat,

Supriyatno
NIP 19680405 198812 1 001

Kata Pengantar

Sehubungan dengan telah terbitnya Keputusan Menteri Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Nomor 165/M/2021 tentang Program Sekolah Menengah Kejuruan Pusat Keunggulan (SMK PK), Direktorat SMK, Direktorat Jenderal Pendidikan Vokasi telah menyusun contoh perangkat ajar.

Perangkat ajar merupakan berbagai bahan ajar yang digunakan oleh pendidik dalam upaya mencapai Profil Pelajar Pancasila dan capaian pembelajaran. Perangkat ajar meliputi buku teks pelajaran, modul ajar, video pembelajaran, modul Projek Penguatan Profil Pelajar Pancasila dan Budaya Kerja, serta bentuk lainnya. Pendidik dapat menggunakan beragam perangkat ajar yang relevan dari berbagai sumber.

Pemerintah menyediakan beragam perangkat ajar untuk membantu pendidik yang membutuhkan referensi atau inspirasi dalam pengajaran. Pendidik memiliki keleluasaan untuk membuat sendiri, memilih, dan memodifikasi perangkat ajar yang tersedia sesuai dengan konteks, karakteristik, serta kebutuhan peserta didik.

Buku ini merupakan salah satu perangkat ajar yang bisa digunakan sebagai referensi bagi guru SMK dalam mengimplementasikan Pembelajaran dengan Paradigma Baru. Buku teks pelajaran ini digunakan masih terbatas pada SMK Pusat Keunggulan.

Selanjutnya, Direktorat SMK mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang terlibat dalam penyusunan buku ini mulai dari penulis, penelaah, reviewer, editor, ilustrator, desainer, dan pihak terkait lainnya yang tidak dapat disebutkan satu per satu. Semoga buku ini bermanfaat untuk meningkatkan mutu pembelajaran pada SMK Pusat Keunggulan.

Jakarta, Juli 2021

Direktur SMK

Prakata

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Kuasa, karena dengan rahmat dan karunia-Nya, buku teks ini dapat diselesaikan dengan baik. Buku teks ini disusun sebagai salah satu buku pegangan peserta didik Sekolah Menengah Kejuruan (SMK) program keahlian Teknik Pesawat Udara. Struktur dan isi buku ini dapat memberikan gambaran tentang seluruh rangkaian pembelajaran Teknik Pesawat Udara. Buku teks yang dikembangkan mengacu pada elemen yang ada dalam Standar Kompetensi Kerja Nasional Indonesia (SKKNI) dan kurikulum standar *Aircraft Maintenance Training Organization* (AMTO) yang tertuang dalam capaian kompetensi. Capaian kompetensi tersebut mengandung judul kompetensi tertentu yang harus mengacu pada nilai-nilai Profil Pelajar Pancasila.

Buku Dasar-Dasar Teknik Pesawat Udara Jilid I ini terdiri atas enam bab, yaitu Industri Pemeliharaan Pesawat Udara, Kesehatan, Keselamatan Kerja dan Lingkungan Hidup (K3LH), Gambar Teknik, Dasar-Dasar Aerodinamika, Material Pesawat Udara, dan *Aircraft Hardware*, *Tools*, and *Equipments*.

Penulis menyadari buku teks ini masih memiliki kekurangan, karena itu kami berharap kritik dan saran demi perbaikan dan kesempurnaan buku teks ini. Semoga buku ini bisa digunakan sebagai salah satu sumber belajar bagi peserta didik SMK program keahlian Teknik Pesawat Udara

Akhirnya, kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan buku teks ini kami ucapkan terima kasih.

Tim Penulis

Daftar Isi

Daftar Gambar

Daftar Tabel

Petunjuk Penggunaan Buku

A Bacalah buku ini secara saksama sebelum, selama, dan setelah selesai proses pembelajaran, serta perhatikan petunjuk-petunjuk di bawah ini.

B Buku ini meliputi penguasaan pengetahuan dasar dan keterampilan kompetensi yang perlu kalian kuasai.

C Jika kalian mengalami kesulitan dalam mempelajari buku ini, silakan bertanya atau berdiskusi dengan teman, guru, atau pembimbing.

D Guru/pembimbing akan menerangkan hal penting yang diperlukan saat kalian melakukan pekerjaan.

E Lakukan latihan dan pekerjaan lebih banyak serta bertanya kepada guru/pembimbing jika ada kesulitan.

F Pindai *QR-code* untuk menjelajahi internet dengan aplikasi yang sesuai.

G Ikuti semua instruksi pada lembar informasi dalam beraktivitas dan isilah lembar kerja yang telah disediakan kemudian kerjakan latihan pada setiap kegiatan pembelajaran.

H Silakan kalian menilai sendiri sebagai bentuk refleksi pekerjaan kalian. Apabila kalian sudah kompeten pada capaian kompetensi tertentu, silakan lanjutkan materi berikutnya. Namun, apabila belum, silakan mengulang kembali pada capaian kompetensi sebelumnya.

I Apabila kalian sudah menyelesaikan buku ini dan merasa yakin telah memahami dan mengerjakan cukup latihan, laporkan kepada guru/pembimbing untuk dinilai.

KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET, DAN TEKNOLOGI
REPUBLIK INDONESIA, 2022

Dasar-Dasar Teknik Pesawat Udara
untuk SMK/MAK Kelas X

Penulis: Maruli Tua, Asep Gunawan
ISBN: 978-623-388-011-4 (PDF)

Bab I

Industri Pemeliharaan Pesawat Udara



Tujuan Pembelajaran

Setelah mempelajari materi ini diharapkan kalian dapat:

1. Memahami tentang bisnis dan perkembangan industri manufaktur pesawat udara secara umum dan PT Dirgantara Indonesia khususnya.
2. Memahami tentang bisnis dan perkembangan pemeliharaan pesawat udara secara umum dan MRO di Indonesia khususnya.
3. Memahami tentang kebutuhan dan peluang bisnis industri manufaktur dan pemeliharaan pesawat udara di dunia secara umum dan di Indonesia khususnya.
4. Memahami tentang kebutuhan dan peluang menjadi *personel aircrew* dan *aircraft technicians*, serta jenjang profesi sebagai teknisi pemeliharaan pesawat udara dan persyaratannya.
5. Memahami konsep dan proses bisnis industri pemeliharaan pesawat udara dan *supply chain management*.

Peta Konsep



***Kata Kunci:** Indonesia, airlines, MRO, airport, PT Dirgantara Indonesia, Garuda Maintenance Facilities, Batam Aero Technic, Merpati Maintenance Facilities, Nurtanio N-219, Airbus, Boeing.*

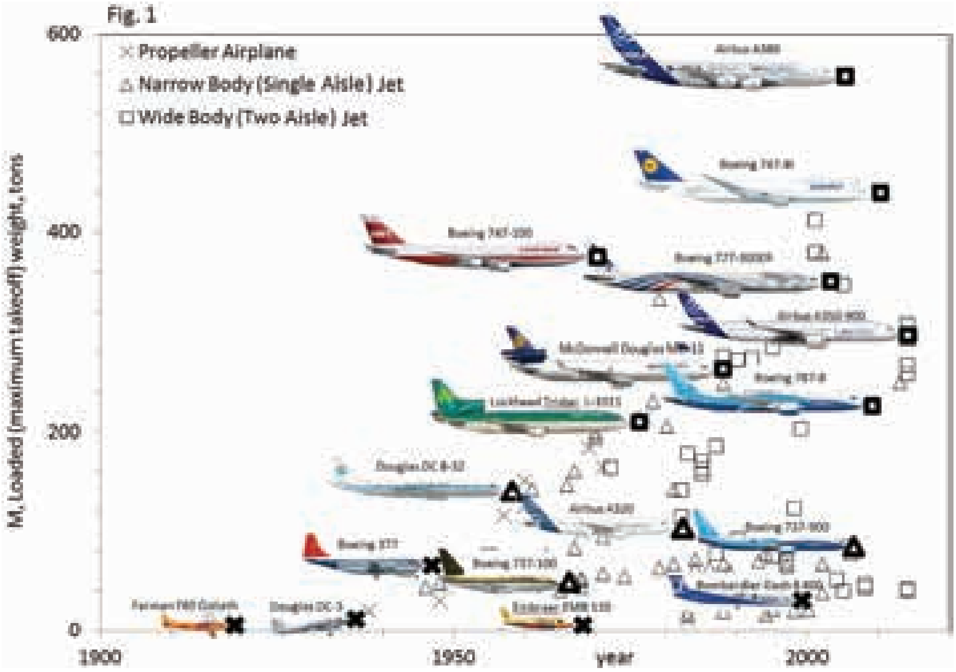
Coba kalian perhatikan peta dunia! Kalian akan melihat bumi didominasi oleh lautan, yakni sekitar dua per tiga bagian bumi. Coba kalian cari di internet berapa jumlah populasi manusia saat ini. Miliaran populasi manusia tersebar di lima benua yang terpisah oleh samudra yang luas. Dalam suatu kondisi, tentunya mereka memiliki kebutuhan untuk saling terhubung antarwilayah dan antarnegara, dengan pesawat udara salah satunya kebutuhan tersebut dapat terpenuhi.

Pesawat udara masih merupakan moda transportasi yang paling efektif dan efisien karena dapat mengangkut manusia maupun barang dengan waktu singkat, aman, dan biaya yang relatif terjangkau. Dengan sangat besarnya jumlah populasi manusia di dunia saat ini, bisa kalian bayangkan berapa jumlah pesawat yang harus ada guna melayani kebutuhan perpindahan manusia dan barang tersebut. Juga sudah terbayang banyaknya hanggar atau *workshop* yang harus tersedia untuk memelihara pesawat-pesawat tersebut.

A. Proses Manufaktur Pesawat Udara

Sejak awal terciptanya pesawat udara oleh Wright Bersaudara pada tahun 1903, diyakini hingga saat ini pesawat udara masih menjadi primadona untuk sebuah moda transportasi yang sangat dibutuhkan dan diandalkan. Dibandingkan dengan moda transportasi lainnya, pesawat udara tentunya

memiliki sejumlah kelebihan, di antaranya kemampuan jarak jelajah yang jauh, cepat, aman, dan daya angkut besar.



Gambar 1.1 Perkembangan rancang bangun pesawat udara
(Sumber: Duke University/Adrian Bejan, 2014)

Gambar 1.1 menunjukkan perkembangan rancang bangun pesawat udara (*aircraft design*) sejak awal abad ke-20, yaitu sejak tahun 1900 hingga 2000. Dijelaskan bahwa konsep perkembangan pesawat udara untuk masa depan lebih ditekankan pada daya angkut yang semakin besar. Hal ini menunjukkan bahwa kebutuhan akan pergerakan ataupun perjalanan manusia dan barang dari tahun ke tahun semakin besar.

Diawali dengan produksi pesawat kecil (*small aircraft*) bermesin *piston engine*, kemudian pesawat berbadan sedang (*narrow body*), hingga berbadan lebar (*wide body*) bermesin *turbofan engine*. Beberapa model pesawat udara tersebut di antaranya Antonov AN-225, Airbus A330, Airbus A380, Boeing B747, dan Boeing B777.

Manufaktur atau pembuatan suatu pesawat udara tentunya memerlukan proses yang cukup panjang dengan melalui beberapa tahapan. Selain membutuhkan perangkat lunak (*software*), perangkat keras (*hardware*), maupun personel yang terampil dan cakap (*brainware*) dengan berbagai

disiplin ilmu, proses manufaktur suatu pesawat udara juga dilakukan dengan tingkat ketelitian yang tinggi.

Sebagai dasar untuk melakukan langkah-langkah selanjutnya, proses manufaktur suatu pesawat udara memerlukan suatu rancangan konsep (*conceptual design*). Rancangan konsep ini merupakan proses awal dalam menentukan dan mewujudkan konfigurasi suatu pesawat yang akan digunakan nantinya. Desain bukan sekadar proses menggambar *layout*, tetapi juga proses analisa untuk menentukan desainnya seperti apa dan bagaimana caranya agar desainnya lebih baik. Ada tiga tahap untuk mendesain sebuah pesawat, yaitu *conceptual design*, *preliminary design*, dan *detail design*.

Pekerjaan pokok yang dilakukan oleh seorang perancang pesawat udara (*aircraft designer*) adalah membuat deskripsi geometri pesawat berdasarkan pertimbangan terhadap batasan-batasan untuk selanjutnya masuk dalam proses manufaktur. Oleh karena itu, produk yang dihasilkan oleh *aircraft designer* adalah gambar *layout* menggunakan tangan ataupun komputerisasi (*Computer Aided Design* - CAD).



Gambar 1.2 Proses manufaktur pesawat Boeing B737-MAX
(Sumber: BoeingAirplanes/Khoros Publishing, 2018)

Gambar di atas adalah salah satu pabrik pesawat terbesar di dunia yaitu Boeing, yang terletak di kota Seattle. Dengan fasilitas seluas 1,1 juta kaki, mereka berusaha meningkatkan kemampuan dalam memproduksi pesawat, dari 52 pesawat menjadi 57 pesawat per bulan, mengejar Airbus yang telah memproduksi 62 pesawat per bulan (*cnbcindonesia.com*, 5 Februari 2019). Meski demikian, Boeing mengklaim dirinya sebagai pabrik pesawat paling efisien di dunia karena para pekerjanya hanya membutuhkan waktu sembilan hari saja untuk memproduksi pesawat tipe 737.

Tahapan proses manufaktur pada sebuah pesawat (khususnya B737) diawali dengan merakit badan pesawat (*fuselage*), kedua dilanjutkan dengan merakit sayap (*wing*), ketiga adalah pemasangan roda pendarat (*landing gear*), keempat dilakukan pemasangan di area *tail section* dan *elevator*, kelima adalah pemasangan mesin dan interior, keenam *livery* atau pengecetan sesuai dengan keinginan pemesan atau operator, dan terakhir adalah *test flight*.

Setelah semua tahapan dilakukan dengan hasil yang baik, barulah pesawat tersebut dikirim. Pengiriman pesawat pertama biasanya dibarengi dengan perayaan oleh kedua perusahaan, yaitu upacara penandatanganan dokumen. Bagi perusahaan manufaktur, acara tersebut sebagai perayaan atas kerja baik mereka, sementara bagi perusahaan pemesan, yakni maskapai (*airlines*), perayaan tersebut merupakan sambutan atas kedatangan pesawat baru dalam armada mereka.

B. Peluang Bisnis Pemeliharaan Pesawat Udara

Indonesia adalah salah satu negara kepulauan terbesar di dunia (*archipelago country*), dikenal dengan nama Negara Kesatuan Republik Indonesia (NKRI). Indonesia berada di wilayah Asia Tenggara yang dilintasi garis khatulistiwa, terletak di antara Benua Asia dan Australia serta di antara Samudra Pasifik dan Hindia. Saat ini Indonesia memiliki jumlah penduduk sekitar 271 juta jiwa dan menjadi negara berpenduduk terbesar keempat di dunia.

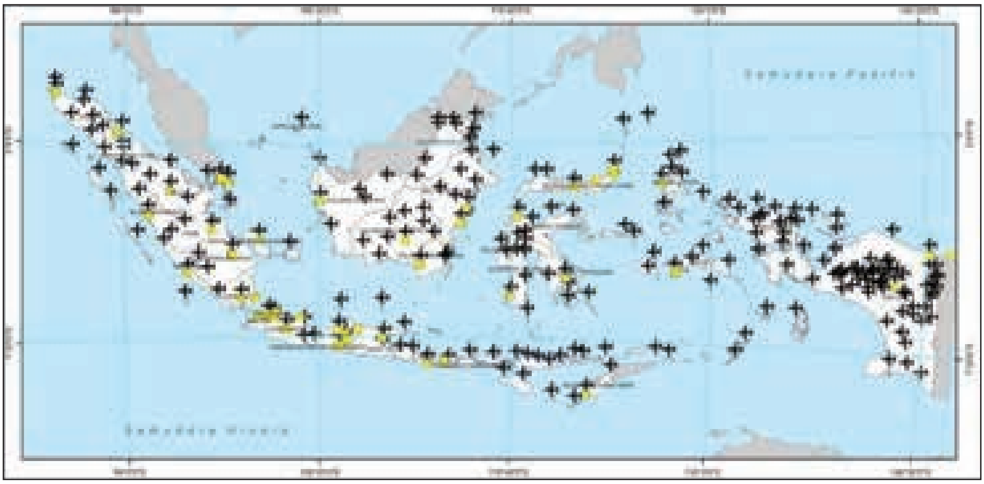


Gambar 1.3 Peluang industri penerbangan di wilayah Indonesia

Secara geografis, Indonesia memiliki lebih dari 17 ribu pulau yang tersebar di luas di 113 juta mil persegi luas wilayahnya. Dengan dua per tiga wilayahnya adalah lautan yang terbentang dari Sabang hingga Merauke (Barat ke Timur) dan dari Pulau Miangas hingga Rote (Utara ke Selatan). Dengan kondisi ini, Indonesia sangat membutuhkan moda transportasi yang andal dan cepat guna melayani mobilitas atau perpindahan orang dan barang. Tentu moda transportasi tersebut adalah pesawat udara.

Geografis yang dimiliki inilah menjadikan Indonesia salah satu negara yang memiliki lalu lintas penerbangan domestik terbesar di dunia. Dalam kondisi tertentu, ketika negara lain sangat membutuhkan dan bergantung pada jalur lalu lintas udara luar negeri (*international air traffic*) untuk dapat memberikan peluang bisnis industri penerbangannya, namun tidak halnya dengan Indonesia yang dengan melayani jalur lalu lintas udara domestik (*domestic air traffic*) saja telah menyumbang porsi yang besar bagi industri penerbangannya.

Guna mendukung operasional transportasi udara dalam negeri, tentunya Indonesia membutuhkan sejumlah bandar udara (*airports*) di setiap daerah. Dalam dekade terakhir, Indonesia telah memiliki lebih dari 360 bandar udara yang dikelola oleh Angkasa Pura I, Angkasa Pura II, Skadron (TNI Angkatan Udara, TNI Angkatan Darat, TNI Angkatan Laut), dan lain-lain.



Gambar 1.4 Sebaran bandar udara di seluruh wilayah Indonesia
(Sumber: Kementerian Perhubungan/ Firdaus Prima Siswanto dan Ilda Hamidah, 2018)

Berdasarkan informasi yang ada di Direktorat Kelaikudaraan dan Pemeliharaan Pesawat Udara (DKPPU), tidak kurang dari 40 perusahaan, baik perusahaan komersial penumpang (*airlines*) maupun perusahaan

sewa pribadi (*private charter*), membanjiri daftar perusahaan penerbangan yang terdaftar di Indonesia, termasuk di dalamnya perusahaan-perusahaan pemeliharaan pesawat udara (*Maintenance and Repair Organization* - MRO).

Peluang bisnis di industri penerbangan yang cukup besar dan menggiurkan ini menyebabkan banyak perusahaan atau operator penerbangan di Indonesia tumbuh subur, sehingga Indonesia termasuk salah satu negara yang memiliki bandara dan operator penerbangan terbanyak di dunia, baik operator penerbangan untuk pesawat berpenumpang (*airlines*) maupun pesawat kargo (*cargo air*).



Gambar 1.5 Perusahaan penerbangan di Indonesia
(Sumber: Airline Empire/SKYSWIMMER, 2018)

C. Perkembangan Perusahaan Manufaktur dan Pemeliharaan Pesawat Udara

Kebutuhan akan jalur transportasi udara yang besar dan luas menuntut pabrik pembuat pesawat udara (*aircraft manufacture*) terus berinovasi demi memenuhi kebutuhan angkutan manusia dan barang.

Airbus dan Boeing sebagai pabrik pembuat pesawat udara terbesar di dunia telah berkomitmen untuk memenuhi kebutuhan pesawat udara tersebut. Airbus dan Boeing juga saling berkompetisi dengan terus meningkatkan rancangan produk yang semakin baik, andal, dan modern. Salah satu contohnya, mereka tak hanya mengembangkan teknologi di *flight deck*, tetapi juga mengembangkan LRT (*Loop Resistance Tester*) demi

menghemat waktu perawatan sebuah pesawat. LRT adalah sistem untuk menguji pesawat terhadap sambaran petir dan tekanan udara ekstrem.

Permintaan penggunaan pesawat yang semakin tinggi, mengakibatkan jumlah pesawat yang diproduksi semakin banyak. Airbus dan Boeing telah memprediksi kebutuhan pesawat udara 10 hingga 15 tahun ke depan, seperti tampak pada gambar berikut.



Gambar 1.6 Pertumbuhan kebutuhan pesawat udara di dunia
(Sumber: Commercial Market Outlook 2019-2038/Grupo One Air)

Dunia penerbangan yang kian maju juga berimbas pada pencemaran udara yang semakin parah. Sebuah pesawat menyumbang pencemaran udara yang cukup banyak, terutama dari bahan bakar fosil. Di satu sisi, ada teknologi yang dikembangkan oleh beberapa pihak, perusahaan World Energy misalnya, tengah mengupayakan pengembangan bahan bakar pesawat udara berkelanjutan yang lebih ramah lingkungan. Namun, harga bahan bakar ramah lingkungan ini masih lebih mahal dua hingga empat kali lipat ketimbang bahan bakar fosil.

Pandemi Corona yang melanda dunia pada 2–3 tahun belakangan ini, turut mengguncang dunia penerbangan. Akses manusia untuk melakukan perjalanan dibatasi, hingga banyak maskapai yang mengalami kerugian besar. Selain itu, seluruh dunia usaha terimbas oleh pandemi sehingga

menurunkan pendapatan per kapita perorangan. Akibatnya, maskapai yang mengusung tema *low cost carrier* semakin diminati ketimbang maskapai yang *full service*.

1. Perusahaan Manufaktur Pesawat Udara

Selain dua raksasa produsen pesawat terbang Airbus dan Boeing, beberapa produsen pesawat udara lainnya yang produknya telah banyak digunakan oleh berbagai *airlines* di dunia. Berikut ini berbagai produsen pesawat terbang di dunia.

1. Airbus S.A.S, di Toulouse, Prancis
2. Boeing Aircraft Company, di Seattle, Amerika Serikat
3. PT Dirgantara Indonesia, di Bandung, Indonesia
4. Cessna Aircraft Company, di Kansas, Amerika Serikat
5. Pilatus Aircraft Company, di Stans, Switzerland
6. Gulfstream Aircraft Company, di Georgia, Amerika Serikat
7. Bombardier Aerospace, di Kansas, Amerika Serikat
8. Tupolev Aircraft Corporation, di Moskow, Rusia
9. Commercial Aircraft Corporation of China (Comac), di Shanghai, China



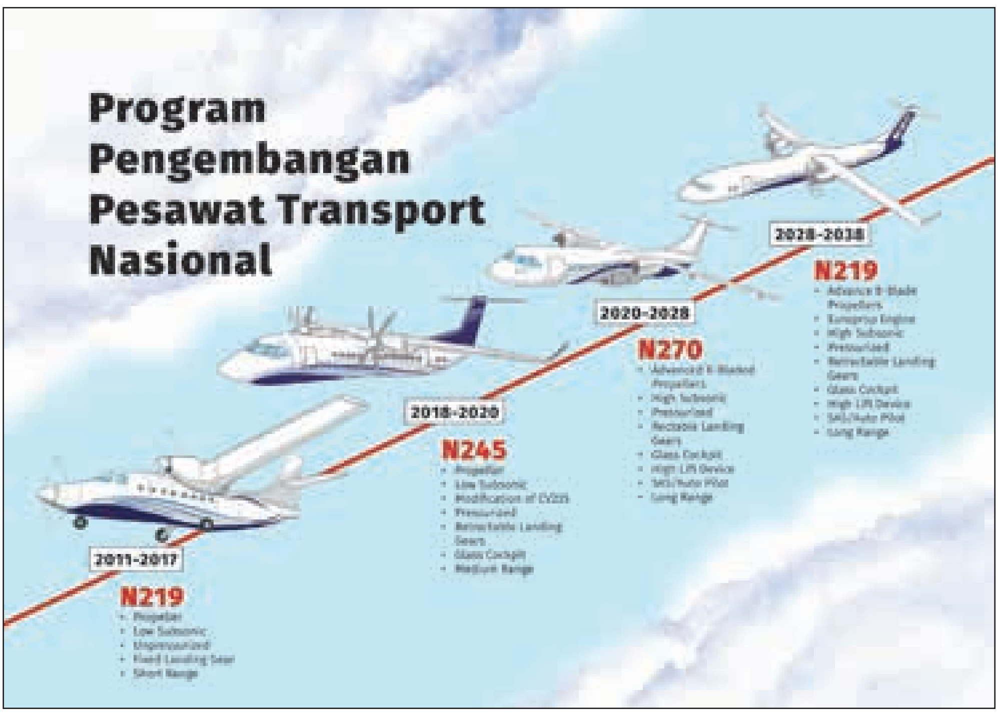
Gambar 1.7 Sejumlah manufaktur dan model produksi pesawat udara

Tidak mau kalah dalam hal ini, industri pesawat udara dalam negeri, yaitu, PT Dirgantara Indonesia (PT DI), juga ambil bagian dalam memenuhi kebutuhan pesawat udara saat ini. Perusahaan pabrik pesawat udara ini secara penuh dimiliki oleh Pemerintah Republik Indonesia. PT Dirgantara Indonesia didirikan pada 26 April 1976 dengan nama PT Industri Pesawat Terbang Nurtanio (PT IPTN) dengan Bapak Profesor Baharuddin Jusuf Habibie sebagai Presiden Direktur yang pertama. Manufaktur ini kemudian melakukan restrukturisasi pada 24 Agustus 2000, dan PT IPTN berubah nama menjadi PT Dirgantara Indonesia (*Indonesia Aerospace Industry*).

Beberapa model pesawat udara, baik *fixed wing* maupun *rotary wing*, telah berhasil dirancang dan dibuat PT DI, antara lain NC-212, CN-235, CN-

250, BO-105, NAS-330 Puma, NAS-332 Super Puma, N-245, N270, dan yang paling mutakhir adalah N-219. Dalam hal lain, ada pula beberapa komponen pesawat komersial besar dibuat di PT DI, di antaranya sebagai subkontrak pendukung komponen pesawat A380 dari Airbus.

PT DI telah berhasil mengembangkan pesawat serbaguna berpenumpang 19 orang yang diberi nama Nurtanio N-219 dengan dua mesin *turboprop* produksi Pratt and Whitney PT6A–42, masing-masing bertenaga 850 shp. Pesawat N-219 dapat terbang dengan kecepatan maksimum 210 knot dan kecepatan terendah hingga 59 knot. Dengan kemampuan tersebut, pesawat N-219 dapat bergerak fleksibel saat melalui wilayah tebing dan pegunungan karena dapat terbang dengan kecepatan cukup rendah, namun terkendali.



Gambar 1.8 Program pengembangan industri pesawat di Indonesia

Pada 10 November 2017, Presiden Joko Widodo memberi nama pesawat N-219 dengan nama Nurtanio, pesawat karya anak bangsa hasil kerja sama Lapan dan PT DI. Pesawat N-219 merupakan pesawat serbaguna, tidak hanya untuk mengangkut penumpang sipil, juga mengangkut angkutan militer, sebagai angkutan barang atau kargo, evakuasi medis, hingga bantuan saat

bencana alam. Pesawat N-219 telah mendapatkan *Type Certificate* untuk kelaikan udara pada tahun 2020 setelah melakukan penerbangan selama 340 jam.



Gambar 1.9 Pertumbuhan industri pendukung produksi pesawat N-219

Sama-sama berlokasi di Bandung, terdapat pula PT Jabil dan UTC Aerospace, merupakan perusahaan asal Amerika Serikat yang memproduksi komponen-komponen seperti *fitting*, *valve*, *fasterner*, *bracket*, *small housing*, *fork*, dan pelat untuk dipasok ke perusahaan Boeing dan Airbus.

Berdirinya industri manufaktur pesawat udara dalam negeri dan perusahaan penerbangan yang beraneka ragam menghasilkan kombinasi bisnis yang bagus, terkait industri pembuatan komponen pesawat udara dan perusahaan pemeliharaan pesawat udara. N-219 sebagai rancang bangun pesawat udara paling mutakhir produksi PT DI telah menyumbang peluang bisnis bagi manufaktur-manufaktur kecil sebagai industri pendukung.

1. Perusahaan Pemeliharaan Pesawat Udara

Di Indonesia industri manufaktur pesawat udara menunjukkan perkembangan yang sangat baik, diikuti industri pemeliharaan dan perbaikan pesawat udara. Berikut ini berbagai perusahaan pemeliharaan dan perbaikan pesawat udara atau yang lebih dikenal dengan istilah MRO (*Maintenance and Repair Organization*) yang ada di Indonesia.

a. Garuda Maintenance Facilities Aero Asia (GMF Aero Asia), di kawasan Bandara Soekarno Hatta, Tangerang

b. Batam Aero Technic (BAT), di kawasan Bandara Hang Nadim, Batam



Gambar 1.10 MRO-GMF Aero Asia dan Batam Aero Technic
(Sumber: www.gmf-aeroasia.co.id dan www.batamaerotechnic.com)

c. FL Technic, di kawasan Bandara Soekarno-Hatta, Tangerang

d. Merpati Maintenance Facilities (MMF), di kawasan Bandara Djuanda, Surabaya



Gambar 1.11 MRO FL Technic dan Merpati Maintenance Facilities
(Sumber: www.fltechnic.com dan www.ptmmf.co.id)

D. Profesi dan karir di Bidang Pemeliharaan Pesawat Udara

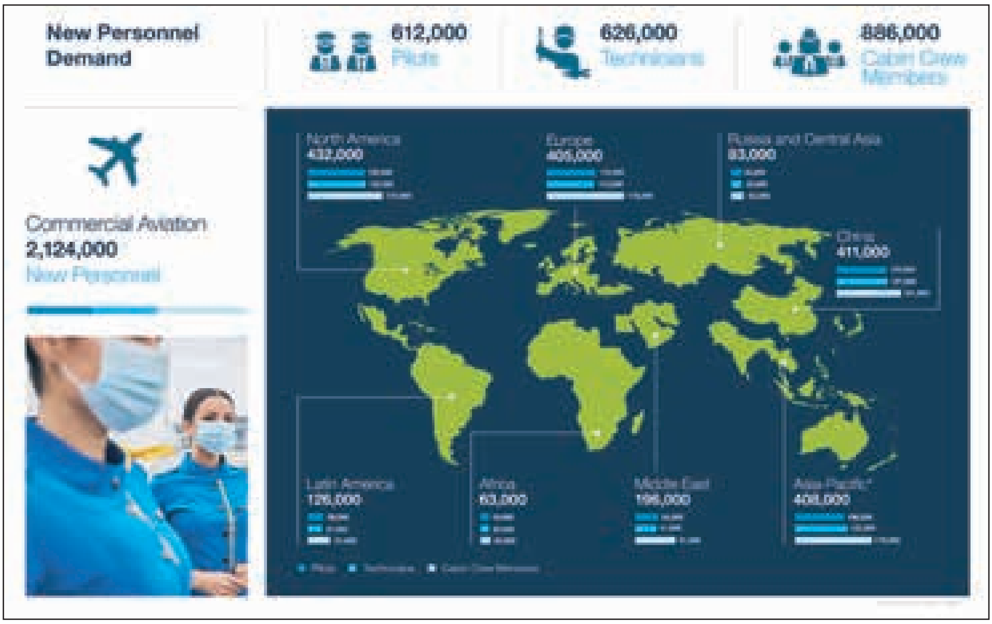
Perkembangan industri penerbangan, baik manufaktur pesawat udara, perusahaan penerbangan, bandar udara, perusahaan pemeliharaan pesawat, dan industri-industri kecil pendukung lainnya akan memberikan peluang kerja yang sangat banyak. Dari sumber data Boeing dijelaskan dalam

periode 2019 hingga 2037, dunia industri penerbangan (*aviation industry*) akan membutuhkan sekitar 790 ribu penerbang (pilot) dan 769 ribu teknisi (*technician*).

1. Kebutuhan Pilot dan *Aircraft Technician*

Kebutuhan pilot dan teknisi pesawat udara (*aircraft technician*) yang profesional di sektor penerbangan saat ini sangatlah besar. Hal ini ditandai dengan industri penerbangan, baik perusahaan penerbangan maupun pusat pemeliharaan pesawat udara berkembang cukup pesat dalam beberapa tahun terakhir. Namun sayangnya, perkembangan industri penerbangan tersebut tidak diimbangi dengan ketersediaan pilot dan teknisi pesawat udara yang cukup.

Boeing memprediksi perkembangan dunia penerbangan akan membutuhkan personel pilot dan teknisi pesawat udara yang sangat banyak dalam 18 tahun ke depan.

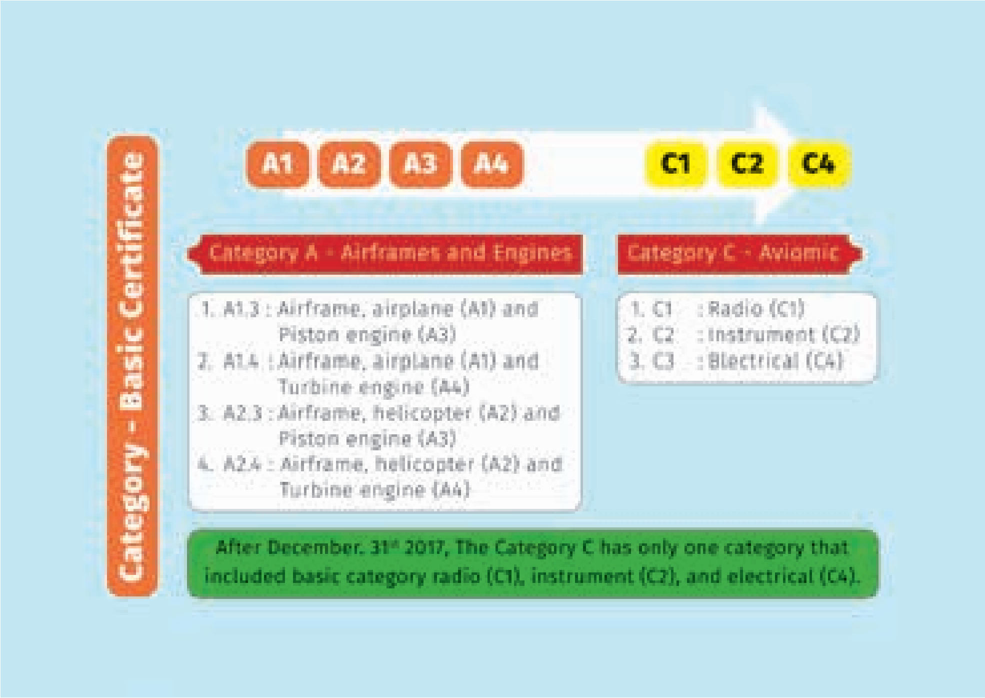


Gambar 1.12 Kebutuhan penerbang dan teknisi pesawat udara di dunia
(Sumber: Pilot and Technician Outlook 2021–2040/Boeing, 2021)

2. Profesi dan Karir *Aricraft Technician*

Selain kesehatan fisik dan mental yang prima, untuk dapat bekerja sebagai teknisi pesawat udara, baik mekanik maupun insinyur, seseorang harus

mengantongi sertifikat atau lisensi. Persyaratan untuk menjadi seorang mekanik dan insinyur ini diatur dalam Peraturan Keselamatan Penerbangan Sipil *(Civil Aviation Safety Regulations* - CASR) Part 65 tentang *Licensing of Aircraft Maintenance Engineer* (LAME) dan Part 147 tentang *Aircraft Maintenance Training Organization*. Sesuai dengan aturan *Civil Aviation Safety Ragulation* (CASR), bahwa teknisi pemeliharaan pesawat udara (*Aircraft Maintenance Technician* - AMT) adalah seseorang yang memegang sertifikat dasar mekanik (*basic certificate*).



Gambar 1.13 Jenjang karir teknisi pesawat udara

Seorang teknisi pemeliharaan pesawat udara melakukan atau mengawasi pemeliharaan, pemeliharaan preventif, serta pengubahan pesawat dan sistem pesawat, sesuai ketentuan yang berlaku. Sedangkan insinyur pemeliharaan pesawat udara (*Aircraft Maintenance Engineer* -AME) adalah orang yang memiliki lisensi untuk mengesahkan tindakan pemeliharaan pesawat udara yang telah dilakukan (*maintenance released*).

Basic certificate atau *basic licence* tersebut dikeluarkan dan disahkan oleh Direktorat Kelaikudaraan dan Pengoperasian Pesawat Udara (DKPPU) atau *Directorate of Airworthiness and Aircraft Operation* (DAAO) di bawah

Kementerian Perhubungan Republik Indonesia. Kantor pusat DKPPU saat ini berada di lingkungan Bandara Internasional Soekarno-Hatta, Tangerang.

Karir sebagai teknisi pesawat udara (*aircraft technician*) diawali dengan menyelesaikan pendidikan tingkat awal atau lulus dari Sekolah Menengah Kejuruan (SMK) Penerbangan sebagai pembantu mekanik (*helper mechanic*). Adapun tugas dan tanggung jawab seorang pembantu mekanik adalah membantu semua aktivitas mekanik dalam kegiatan pemeliharaan pesawat udara.

Selanjutnya untuk naik menjadi seorang mekanik, pembantu mekanik dapat melanjutkan pendidikan di *Aircraft Maintenance Training Organization* (AMTO) untuk mendapatkan sertifikat dasar (*basic license*). Menurut CASR Part 147, lamanya pendidikan AMTO yang harus ditempuh adalah selama 3.000 jam, meliputi materi teori, praktik *workshop*, dan praktik kerja.

Berikut ini beberapa kategori *basic license* yang dapat menjadi pilihan bagi calon mekanik sesuai CASR Part 65 dan Part 147.

a. A1.3: Airframe, Airplane (A1) dan Piston Engine (A3)

b. A1.4: Airframe, Airplane (A1) dan Turbine Engine (A4)

c. A2.3: Airframe, Helicopter (A2) dan Piston Engine (A3)

d. A2.4: Airframe, Helicopter (A2) dan Turbine Engine (A4)

e. C1: Radio

f. C2: Instrumen

g. C4: Electrical

Seseorang yang mendapatkan salah satu atau lebih *basic license* di atas berhak menjadi mekanik pesawat udara (*aircraft mechanic*) dengan beban tugas dan tanggung jawab yang telah diatur.

Setelah mendapatkan pengalaman sebagai seorang *aircraft mechanic* dalam periode tertentu, ia bisa lebih meningkatkan keahliannya agar dapat melanjutkan karirnya menjadi seorang *aircraft engineer*. Sesuai CASR Part 65, seseorang dapat menjadi *aircraft engineer* dengan menyelesaikan pendidikan khusus (*aircraft type rating course*) untuk tipe pesawat tertentu. Sebagai contoh, *rating course* yang bisa diikuti di antaranya *type rating* Airbus A320, *type rating* Airbus A330, *type rating* Boeing B737, dan *type rating* Boeing B777. Setelah menyelesaikan pendidikan salah satu atau lebih *type rating* tersebut maka ia berhak menjadi *aircraft engineer* dengan segala tugas dan tanggung jawabnya.



Gambar 1.14 Teknisi mesin pesawat udara
Sumber: liputan6.com/Angga Yuniar, 2018)

Selain pekerjaan yang mempersyaratkan *basic license* bagi pekerjanya, ada juga pekerjaan-pekerjaan lain yang tidak memerlukan lisensi, tetapi tetap berada dalam pengawasan/supervisi. Misalnya, pekerjaan pengecetan dan pembersihan pesawat udara serta pekerjaan-pekerjaan *ground support* lainnya.

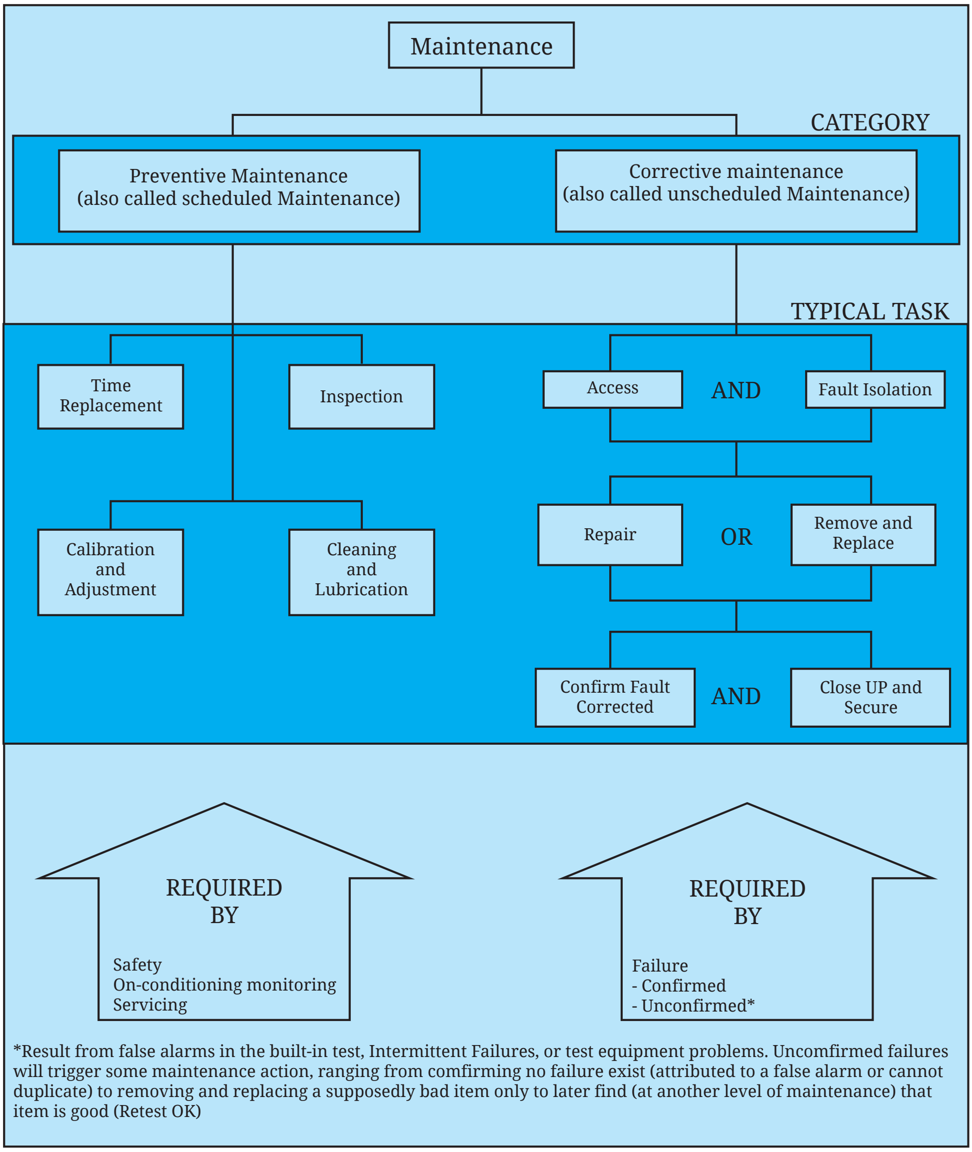
E. Proses dan Perkembangan Industri Pemeliharaan Pesawat Udara

Pemeliharaan (*maintenance*) merupakan hal yang tidak dapat terpisahkan dalam kegiatan produksi. Oleh karena itu, pemeliharaan dalam dunia industri apa pun sangat penting. Semua peralatan, mesin, bangunan, dan aset perusahaan lainnya yang bersifat fisik akan mengalami kerusakan dalam penggunaannya.

Pemeliharaan adalah suatu rangkaian dan/atau kombinasi dari berbagai tindakan yang dilakukan guna menjaga suatu ketersediaan barang atau alat dalam memperbaikinya hingga suatu kondisi atau kualitas yang bisa diterima. Pemeliharaan diperlukan untuk memulihkan atau mempertahankan suatu barang dalam keadaan operasional yang efektif. Salah satu tujuannya adalah untuk memelihara sistem secara efektif dan efisien dalam lingkungan yang diinginkan, tanpa memengaruhi misi sistem itu.

Pemeliharaan yang baik akan memperpanjang kegunaan alat/barang, kinerja alat meningkat, hasil produksi dapat terpenuhi tepat waktu, serta nilai investasi yang dialokasikan untuk peralatan dan mesin dapat diminimalkan. Selain itu, pemeliharaan yang baik juga dapat meningkatkan

kualitas produk yang dihasilkan dan mengurangi kegagalan atau limbah (*waste*), hingga pada akhirnya dapat mengurangi ongkos produksi. Pemeliharaan juga dimaksudkan untuk menjamin kelangsungan fungsional suatu sistem produksi dan peralatannya sehingga tujuan perusahaan akan tercapai.



Gambar 1.15 Pemeliharaan pesawat udara
(Sumber: www.faa.gov)

Kegiatan pemeliharaan dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu:

1. *Proactive maintenance*, yaitu pemeliharaan yang dilakukan secara terencana tanpa menunggu mesin rusak terlebih dahulu sehingga dapat meminimalkan kemungkinan terjadinya *downtime* akibat kerusakan mesin. Kegiatan ini dibagi lagi menjadi *preventive maintenance* dan *predictive maintenance*.
2. *Reactive maintenance*, yaitu kegiatan pemeliharaan yang dilakukan sebagai respons terhadap *downtime* unit yang tidak terencana, umumnya sebagai hasil dari kegagalan, baik yang bersifat internal maupun eksternal. Kegiatan ini dibagi lagi menjadi *corrective maintenance* atau sering disebut juga *breakdown maintenance*.

Selanjutnya, berikut beberapa definsi dan pemahaman tentang istilah-istilah dalam aktivitas pemeliharaan pesawat udara.

1. *Preventive Maintenance*

Pemeliharaan pencegahan (*preventive maintenance*) adalah tindakan pemeliharaan yang dilakukan secara terjadwal atau secara periodik. Beberapa tindakan *preventive maintenance* yaitu inspeksi (*inspection*), perbaikan (*repair*), penggantian (*replacement*), pembersihan (*cleaning*), pelumasan (*servicing*), penyesuaian (*rigging*), dan kalibrasi (*calibration*).

Preventive maintenance umumnya dilakukan berdasarkan data atau pengalaman kerusakan pada masa lalu. Dengan dilaksanakannya *preventive maintenance* secara teratur maka kejadian-kejadian yang tidak terduga dan tidak diinginkan yang dapat mengganggu kelancaran proses produksi dapat dihindari.

2. *Corrective Maintenance*

Pemeliharaan perbaikan (*corrective maintenance* atau *breakdown maintenance*) adalah pemeliharaan yang dilakukan untuk memperbaiki suatu bagian atau komponen yang telah terhenti akibat suatu kerusakan dengan harapan untuk memulihkan kembali ke keadaan semula. Artinya, *corrective maintenance* merupakan tindakan reparasi yang dilakukan setelah suatu bagian mengalami kerusakan atau tidak berfungsi sebagaimana mestinya.

Perlu dicermati bahwa apabila perusahaan hanya mengambil kebijakan untuk menerapkan atau melakukan *corrective maintenance* maka akan terdapat faktor ketidakpastian dalam kelancaran proses produksi sehingga

akan mengganggu kelancaran kerja fasilitas atau peralatan produksi yang ada. Oleh karena itu, kebijakan untuk melakukan *corrective maintenance* saja akan menimbulkan akibat-akibat yang dapat menghambat ataupun mengganggu kegiatan produksi apabila terjadi suatu kerusakan secara tiba-tiba pada fasilitas produksi yang digunakan.

3. *Predictive Maintenance*

Pemeliharaan perkiraan atau prediksi (*predictive maintenance*) ialah tindakan pemeliharaan yang dilakukan melalui analisa secara fisik terhadap peralatan atau komponen dengan bantuan instrumen tertentu, seperti alat pengukur getaran (vibrometer), ampitudometer, temperatur, tekanan udara (barometer), dan pengukur suara (*noise meter*). Prinsip dari *predictive maintenance* adalah mencegah kemungkinan terjadinya kerusakan yang timbul secara tak terduga sedini mungkin.

Dalam kegiatan *predictive maintenance*, peralatan atau komponen dimonitor atau dievaluasi untuk memprediksi kapan kerusakan akan terjadi. Maka, pencegahan yang tepat dapat dilaksanakan sebelum kerusakan terjadi. Dengan menghindari kerusakan, usia pakai komponen juga dapat diperpanjang. *Predictive maintenance* ini pun dilakukan secara terjadwal seperti halnya *preventive maintenance*, sehingga waktu produksi yang terbuang dapat dihindari.

Kelemahan dari *predictive maintenance* adalah tidak semua jenis kerusakan dapat diprediksi, karena tidak semua gejala kerusakan dapat diukur secara fisik. Namun demikian, apabila kerusakan mesin atau komponen dapat diprediksi secara fisik maka *predictive maintenance* merupakan metode pemeliharaan terbaik karena pengawasannya dapat dilakukan secara terus-menerus sehingga peluang terjadinya kerusakan dapat dihindari.

4. Konsep Ketersediaan dan Keandalan

Ketersediaan (*availability*) adalah probabilitas suatu komponen atau sistem beroperasi sesuai dengan fungsi yang ditetapkan pada waktu tertentu ketika digunakan pada kondisi operasi yang telah ditetapkan. *Availability* bergantung pada keandalan dan pemeliharaan. Untuk dapat memperkirakan ketersediaan sistem distribusi dan probabilitas kerusakan maka perbaikan harus dipertimbangkan.

Adapun keandalan (*reliability*) adalah probabilitas suatu komponen atau sistem akan menjalankan fungsi yang dibutuhkan pada periode waktu tertentu saat digunakan pada kondisi operasi yang sudah ditentukan. Nilai keandalan berkisar antara 0 hingga 1, di mana nilai 0 artinya keandalan yang sangat rendah dan komponen tidak dapat dipakai, sedangkan nilai 1 menunjukkan keandalan yang tinggi.

5. *Life Cycle Cost*

Analisis biaya siklus hidup (*life cycle cost analysis*) yang menghitung biaya sistem atau produk selama seluruh rentang umurnya, juga melibatkan proses manajemen siklus hidup produk (*life cycle cost management*), sehingga keuntungan siklus hidup suatu produk dapat dimaksimalkan. Analisis biaya ini bergantung pada nilai yang dihitung dari analisis keandalan lainnya, seperti tingkat kegagalan (*failure rate*), biaya suku cadang (*cost of spare*), waktu perbaikan (*repair times*), dan biaya komponen (*component cost*).

Life cycle cost analysis sangat penting untuk tujuan akuntansi biaya. Dalam memutuskan untuk memproduksi atau membeli produk atau layanan, jadwal biaya siklus hidup membantu menunjukkan biaya apa yang perlu dialokasikan untuk suatu produk sehingga organisasi dapat memulihkan biayanya. Jika semua biaya tidak dapat dipulihkan, tidak bijaksana untuk menghasilkan produk atau layanan, dengan kata lain stop produksi untuk menghindari kerugian.

6. *Aircraft Maintenance*

Pemeliharaan pesawat udara (*aircraft maintenance*) adalah teknologi yang terkait dengan tindakan yang diperlukan untuk mempertahankan atau meningkatkan kelaikan udara (*airworthiness*) dan keandalan (*reliability*) yang dirancang dari sebuah pesawat udara serta sistem, subsistem, dan komponennya sepanjang siklus hidup pesawat. Tindakan-tindakan tersebut termasuk, namun tidak terbatas pada:

a. Pengembangan program pemeliharaan pesawat udara (*aircraft maintenance program development*) sesuai dengan pabrikan pesawat/mesin/komponen.

b. Pemantauan/kontrol/pelaksanaan *Airworthiness Directives* (AD) yang dikeluarkan oleh otoritas pengatur penerbangan untuk jenis pesawat tertentu.

c. Pemantauan/pengendalian/pelaksanaan *Service Bulletin* (SB) yang dikeluarkan oleh pabrikan untuk jenis pesawat/mesin/komponen tertentu untuk perbaikannya.

d. Kinerja salah satu atau kombinasi dari *overhaul*, perbaikan (*repair*), inspeksi (*inspection*), penggantian (*replacement*), modifikasi (*modification*), atau perbaikan cacat pesawat atau komponen sesuai dengan program pemeliharaan pesawat dan/atau data pemeliharaan yang disiapkan oleh pabrikan.

e. Inspeksi berkala berdasarkan waktu kalender, waktu layanan (misalnya setiap tahun atau setiap 100 jam operasi), atau siklus penerbangan/pendaratan tertentu.

7. *Airworthiness*

Kelaikudaraan (*airworthiness*) adalah istilah yang digunakan untuk menentukan apakah sebuah pesawat layak terbang dengan aman. Di sebagian besar negara untuk menerbangkan pesawat udara tanpa terlebih dahulu memperoleh sertifikat kelaikan udara dari badan pemerintah yang bertanggung jawab adalah ilegal. Kelaikudaraan biasanya harus dipertahankan dengan program inspeksi oleh mekanik pesawat yang berwenang, biasanya dilakukan setiap tahun atau setelah waktu penerbangan yang telah berlalu, seperti setiap 100 jam operasi.

Pengembangan pemeliharaan pesawat udara memerlukan pertimbangan banyak faktor yang melibatkan semua aspek, dari suatu konsep dan sistem, serta ukuran parameter pemeliharaan. Kegiatan ini mencakup kombinasi dari hal-hal berikut.

a. *Mean Time Between Maintenance* (MTBM) yang mencakup persyaratan pemeliharaan terjadwal (*scheduled*) dan korektif (*unscheduled*), dan ini termasuk pertimbangan reliabilitas *mean time between failure* (MTBF).

b. *Mean Time Between Replacement* (MTBR) suatu barang yang karena tindakan pemeliharaan, biasanya menghasilkan perkiraan kebutuhan suku cadang (*sparepart stock*).

c. *Maintenance Down Time* (MDT) atau total waktu selama sistem atau produk tidak dalam kondisi untuk melakukan fungsi yang dimaksudkan. MDT mencakup rata-rata waktu pemeliharaan aktif (*Mean Active Maintenance Time* - MAT), waktu tunda logistik (*Logistic Delay Time* - LDT), dan waktu tunda administratif (*Administrative Delay Time* - ADT).

MAT adalah fungsi dari *Mean Corrective Maintenance Time* (MCT) yang setara dengan *Mean Time to Repair* (MTTR) dan *Mean Preventive Maintenance Time* (MPT). Perbedaan antara MDT dan MTTR adalah MDT mencakup setiap dan semua penundaan yang terlibat, sedangkan MTTR hanya melihat waktu perbaikan.

d. *Turn Around Time* (TAT) atau elemen ikatan pemeliharaan yang diperlukan untuk memperbaiki dan/atau memeriksa item untuk komitmen ulang. Ini merupakan waktu yang dibutuhkan suatu barang untuk melewati siklus lengkap mulai dari pemasangannya di sistem operasional melalui bengkel pemeliharaan hingga ke persediaan suku cadang yang siap digunakan.

e. *Maintenance Labor Hour per System/Product Operating Hour* (MLH/OH), sama dengan istilah *Maintenance Man Hours/Operating Hour* (MMH/OH).

f. *Maintenance Cost per System/Product Operating Hour* (Cost/OH) adalah biaya perawatan yang harus dipertimbangkan dalam konteks *Lift Cycle Cost* (LCC).

8. *Supply Chain Management*

Manajemen pemeliharaan (*maintenance management*) mengacu pada penerapan perencanaan yang tepat, atau organisasi dan staf, implementasi program, dan metode pengendalian yang tepat untuk aktivitas pemeliharaan. Manajemen pemeriksaan ini mengatur deskripsi tugas yang harus diselesaikan, mengidentifikasi tanggung jawab organisasi, mengembangkan struktur rincian kerja, menjadwalkan dan mengembangkan proyeksi biaya, meninjau program dan persyaratan pelaporan, dan sebagainya.

Manajemen mata rantai pasokan (*supply chain management*) atau jaringan logistik/pasokan adalah sistem terkoordinasi dari organisasi, orang, aktivitas, informasi, dan sumber daya yang terlibat dalam memindahkan produk atau layanan secara fisik atau virtual dari pemasok ke pelanggan. Aktivitas *supply chain* mengubah bahan mentah dan komponen menjadi produk jadi yang dikirimkan ke pelanggan akhir atau pengguna.

Tujuan utama dari *supply chain management* adalah untuk memenuhi permintaan pelanggan melalui penggunaan sumber daya yang paling efisien, termasuk pendistribusian, persediaan, dan tenaga kerja. Berbagai aspek dalam mengoptimalkan *supply chain management* diantaranya menghilangkan keterlambatan atau kemacetan, mengoptimalkan aliran

manufaktur, dan menggunakan lokasi/alokasi, analisis rute kendaraan, pemrograman, dan pengoptimalan logistik guna memaksimalkan efisiensi distribusi.

Kompleksitas urutan teknis dalam *supply chain* saat ini berdampak pada semakin lancarnya hubungan antara konsumen dan vendor, yang sebelumnya hubungan konsumen dan vendor itu hanya merupakan mata rantai terakhir dalam rantai atau jaringan pertukaran yang panjang dan kompleks.



Gambar 1.16 *Supply chain management*

Aktivitas Pembelajaran

1. Buatlah kelompok bersama teman-temanmu. Diskusikan dan rencanakan bersama pembuatan sebuah film pendek yang menerangkan tentang situasi geografis Indonesia dan sebaran penduduknya di berbagai pulau yang menuntut ketersediaan pesawat udara sebagai moda transportasi yang menjangkau daerah-daerah tersebut dan dalam kategori murah.
2. Buatlah saluran kanal di YouTube, lalu unggah film yang kalian buat tadi dan ajaklah teman-temanmu untuk berkomentar sesuai dengan materi yang kalian pelajari.
3. Buatlah kelompok bersama teman-temanmu. Amati dan diskusikan beberapa manufaktur pesawat udara, baik yang berada di dalam negeri maupun luar negeri. Bahas pula jenis-jenis model pesawat dari masing-masing manufaktur tersebut.

4. Lakukan kunjungan ke salah satu MRO milik Indonesia, misalnya ke GMF Aero Asia di area Bandara Soekarno-Hatta. Di sana perhatikan dengan baik bagaimana proses pemeliharaan dilakukan. Buatlah laporan dari hasil kunjungan terkait aktivitas proses di industri pemeliharaan pesawat udara.
5. Dari aktivitas nomor 4, bersama teman-temanmu, amati dan diskusikan mengenai proses *supply chain management* di MRO tersebut. Tuliskan dalam selembar kertas.

Rangkuman

1. Indonesia memiliki kesempatan bersaing di dalam industri manufaktur dan pemeliharaan pesawat udara karena memiliki PT Dirgantara Indonesia dan beberapa MRO, seperti PT Garuda Maintenance Facilities Aero Asia, PT Batam Aero Technic, PT Merpati Maintenance Facilities, dan FL Technic.
2. Sesuai dengan peraturan CASR Part 65, seorang teknisi yang berkerja pada pesawat udara harus memiliki *basic license* dan AMEL (*Aircraft Maintenance Engineer License*) yang dikeluarkan oleh DKKPU.
3. Kegiatan pemeliharaan dan perawatan pesawat udara terbagi dalam dua kategori, yaitu pemeliharaan pencegahan (*preventive maintenance*) dan pemeliharaan korektif (*corrective maintenance*) .
4. Tugas pemeliharaan pencegahan antara lain inspeksi, pengukuran, tindakan kalibrasi, pembersihan, dan lubrikasi.
5. Tugas pemeliharaan korektif adalah mengakses kerusakan, mencari solusi, memperbaiki, melepas dan mengganti komponen yang rusak, memastikan bahwa kerusakan telah dikoreksi, menutup masalah, dan memastikan aman.
6. *Supply chain management* mengacu pada penerapan perencanaan yang tepat, atau organisasi dan staf, implementasi program, dan metode pengendalian untuk aktivitas pemeliharaan.
7. Tujuan utama *supply chain management* adalah untuk memenuhi permintaan pelanggan melalui penggunaan sumber daya yang paling efisien, termasuk kapasitas distribusi, persediaan, dan tenaga kerja.

Tes Formatif

1. Mengapa industri penerbangan sangat penting bagi Indonesia?
2. Apa yang dimaksud *aircraft maintenance* dan apa tujuannya?
3. Apa yang dimaksud dengan *airworthiness*? Jelaskan!
4. Apa nama badan pemerintah yang mengeluarkan sertifikat untuk teknisi pesawat udara?
5. Sebutkan sedikitnya 20 nama bandar udara yang tersebar di seluruh wilayah Indonesia beserta kota tempatnya berada!
6. Sebutkan nama fasilitas pemeliharaan dan perawatan yang berada di Indonesia! Tuliskan pula perbedaan manufaktur dan MRO!
7. Sebutkan nama-nama *aircraft manufacture* yang kalian ketahui beserta letak dan model produksi pesawatnya!
8. Ada dua jenis kegiatan pemeliharaan, sebutkan dan jelaskan!
9. Apa yang dimaksud dengan AMEL? Jelaskan!
10. Apa isu global dunia penerbangan saat ini yang kalian ketahui? Ceritakan!

Refleksi

Beri tanda centang pada kolom di bawah ini, jika kalian telah paham!

☐	Memahami kekayaan Indonesia atas SDM, pabrik pesawat, serta pusat perawatan dan pemeliharaan pesawat yang kita miliki.
☐	Memahami proses perawatan dan pemeliharaan pesawat udara.
☐	Memahami pembagian jenis-jenis pemeliharaan pesawat udara.
☐	Memahami proses jenjang karir seorang *mechanic/engineer* pesawat udara.

Jika ada materi yang belum kalian pahami, silakan diskusikan bersama temanmu yang sudah paham atau tanyakan kepada gurumu.

Pengayaan

Untuk mengetahui, memahami, dan menambah wawasan tentang industri manufaktur serta pemeliharaan dan perawatan pesawat udara, Silakan jelajahi internet melalui alamat situs-situs berikut ini:

www.faa.gov

www.easa.europa.eu

www.boeing.com

www.airbus.com

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET, DAN TEKNOLOGI
REPUBLIK INDONESIA, 2022**

Dasar-Dasar Teknik Pesawat Udara
untuk SMK/MAK Kelas X

Penulis: Maruli Tua, Asep Gunawan
ISBN: 978-623-388-011-4 (PDF)

Bab II

Kesehatan, Keselamatan Kerja, dan Lingkungan Hidup (K3LH)



Tujuan Pembelajaran

Setelah mempelajari materi ini diharapkan kalian dapat:

1. Mengetahui pengaruh lingkungan kerja.
2. Melaksanakan praktik kerja yang aman.
3. Mengenal bahaya di tempat kerja.
4. Memahami prosedur dalam keadaan darurat.
5. Menerapkan budaya kerja industri (ringkas, rapi, resik, rawat, dan rajin).

Peta Konsep



Kata kunci: *Kesehatan, Keselamatan Kerja, Lingkungan, Darurat, APAR*



Gambar 2.1 Logo K3 (Kesehatan dan Keselamatan Kerja)

Bila kalian sedang melubangi pelat aluminium kemudian mata kalian terkena serpihan logam pelat atau tangan kalian terkena mata bor, menurut kalian apakah ada yang salah dalam proses pekerjaan tersebut? Mungkinkah ada langkah yang terlompati dalam pelaksanaannya?

Kejadian di atas merupakan salah satu contoh kecelakaaan dalam bekerja. Masih ada banyak kecelakaan kerja lainnya yang diakibatkan kelalaian atau kurangnya perhatian akan kesehatan dan keselamatan selama bekerja.



Gambar 2.2 Kecelakaan kerja di tempat konstruksi
(Sumber: twlglawfirm.com, 2022)

Agar kalian lebih memahami tentang Kesehatan dan keselamatan dalam bekerja serta pengaruh lingkungan terhadap keselamatan kerja, mari ikuti dan pelajari materi pengaruh lingkungan serta perilaku manusia terhadap kesehatan dan keselamatan kerja.

A. Pengaruh Kemajuan Industri Terhadap Lingkungan

Perkembangan dan kemajuan industri mengakibatkan pencemaran lingkungan bertambah. Pencemaran akibat limbah pabrik bisa terjadi selama atau sesudah proses produksi berlangsung. Buangan ini dapat berbentuk gas, cair, padat, panas, radiasi, bunyi, dan lain-lain. Pada awal industri berkembang, pencemaran belum terasa pengaruh buruknya. Akan tetapi,

makin lama semakin banyak kerugian yang ditimbulkan akibat makin banyak zat buang dari industri. Pabrik-pabrik membuang kotoran dan zat-zat kimia ke sungai akan berdampak pada kehidupan ganggang, ikan, dan hewan-hewan lainnya yang selanjutnya memengaruhi ketersediaan makanan bagi manusia.

Pencemaran udara memengaruhi kesehatan manusia dan hewan, tumbuh-tumbuhan juga ikut tercemar oleh gas buang tersebut. Berdasarkan pengamatan, pencemaran air dan udara adalah gangguan terburuk bagi kesehatan makhluk hidup. Ada kata-kata bijak, "mencegah lebih baik daripada mengobati", maka lebih baik kita mencegah terjadinya segala bentuk pencemaran daripada memperbaikinya.

Pencemaran industri merupakan permasalahan yang sangat serius, karena lambat atau cepat kita harus membayarnya. Membutuhkan biaya besar dan waktu yang lama untuk memperbaiki kerusakan akibat pencemaran industri. Oleh sebab itu, kita harus memikirkan upaya pencegahannya sejak awal sebelum terjadi pencemaran. Supaya langkah pencegahan ini lebih efektif, hendaknya kita memanfaatkan pengalaman dari negara-negara lain yang dunia perindustriannya telah lebih dulu maju.

Parameter yang umum digunakan untuk mengukur polusi adalah sebagai berikut.

1. ***Threshold Limit Value*** (TLV) adalah rata-rata konsentrasi dari suatu unsur pencemar di dalam ruang kerja, di mana selama delapan jam per hari pekerja tidak mengalami gangguan kesehatan. Satuan TLV dinyatakan dalam mg/m³ udara, ppm, atau mppf. Koreksi karena adanya fluktuasi bisa dihitung dengan *excursion factor* (EF) sebagai berikut.

   a. 0–1 (ppm atau mg/m³) – EF = 3
   b. 1–10 (ppm atau mg/m³) – EF = 2
   c. 10–100 (ppm atau mg/m³) – EF = 1,5
   d. 100–1.000 (ppm atau mg/m³) – EF = 1,25

   TLV dari bermacam-macam unsur telah ditetapkan oleh American Conference of the Governmental Industry Hygienist (ACGIH) yang berkumpul secara berkala tiap tahun atau setiap kali akan mengadakan perubahan-perubahan.

2. ***Maximum Allowable Concentration*** (MAC) adalah konsentrasi tertinggi yang diperbolehkan terdapat dalam unsur pencemar dalam ruang kerja agar tidak menimbulkan gangguan.
3. **Standar mutu** adalah jumlah konsentrasi pencemar di dalam udara atau atmosfer yang tidak boleh dilampaui.
4. **Standar emisi** adalah batas emisi suatu pencemar yang tidak boleh dilampaui.
5. **ppm** (*partical per million*) adalah jumlah pencemar (dalam satuan mg, ml, dan sebagainya) yang terdapat dalam satu juta satuan air atau udara (dalam satuan mg, ml, dan sebagainya).
6. **mppf** (*million of partical per cubic feet*) adalah sekian juta butiran partikel dalam setiap kubik kaki.

B. Pencemaran Udara

Pencemaran udara terberat terjadi pada industri yang bergerak dalam pengolahan besi dan baja. Proses pengolahan besi dan baja mengeluarkan partikel dan gas seperti oksida belerang (SO_2), karbon dioksida (CO_2), karbon monoksida (CO), dan hidrokarbon (C_xH_x). Selain itu, menggunakan suhu yang sangat tinggi sehingga asap yang dikeluarkan juga banyak. Selama pemrosesan, butiran partikel yang ukurannya lebih kecil dari molekul gas akan dikeluarkan. Supaya asap yang mengandung butiran partikel tidak mengotori udara sekitarnya, maka dilakukan pengurangan jumlah butiran partikel dalam asap dengan menggunakan alat pembersih butiran partikel.

Secara umum, alat pembersih butiran partikel ada empat macam, yaitu:

1. *Cyclone*
2. Penggosok/penyikat basah (*wet scrubers*)
3. Pengendap elektrostatis (*electrostatic precipitator*)
4. Saringan kain (*fabric filters*)

Efisiensi masing-masing alat ini bergantung pada ukuran butiran partikel dan parameter operasi alat. Terdapat pula alat pembersih udara lainnya seperti saringan kertas, penyemprot uap, dan lapisan kerikil. Saringan kertas lebih praktis, sedangkan penyemprot uap dan lapisan kerikil jarang dipakai karena kurang efisien. Efisiensi *cyclone* juga sangat rendah sehingga hanya dipakai apabila ukuran partikelnya besar. Sebagai alat pengontrol

utama untuk penanggulangan pencemaran butiran-butiran partikel, umum digunakan penyikat basah, pengendap elektrostatis, dan saringan kain.

Untuk mencegah polusi udara, ada beberapa cara yang dapat digunakan, antara lain:

1. Memasang sirkulasi udara (ventilasi) dibantu dengan *exhaust fan* yang ditempatkan di tempat-tempat strategis untuk menyedot udara lebih bersih ke dalam serta meniupkan udara yang tercemar ke arah yang aman, yang tidak ada karyawan.
2. Memakai pelindung pernapasan (*respiratory protection*) yang bersifat mekanis untuk karyawan-karyawan tertentu terkait pekerjaannya.
3. Memasang cerobong asap dengan/atau tanpa alat pengisap (*blower*).
4. Memasang alat penyedot debu basah (*wet dust collector*/*wet spray chambers*).

C. Pengotor Debu dan Pengaruhnya Terhadap Manusia

Debu adalah partikel-partikel udara dengan diameter kurang dari seperjuta sentimeter. Secara faktual, ternyata partikel-partikel yang lebih kecil dari 0,1 mikron tersebut merupakan 90% dari berat seluruh debu.

Pada permukaan partikel yang halus inilah gas buang diserap. Partikel-partikel tadi sangat mudah masuk ke dalam paru-paru dan dapat mengakibatkan penyakit *pneumoconiosis* atau radang pada paru-paru dan termasuk jenis penyakit okupasi, yakni penyakit paru-paru terkait pekerjaan penderita. Penyakit paru okupasi banyak sekali macamnya, antara lain:

1. **Emfisema paru**, disebabkan debu arang.
2. **Bisinosis paru**, disebabkan debu kapas.
3. **Bronkiolitis paru**, disebabkan debu batang tebu.
4. **Fibrosis paru**, disebabkan debu yang mengandung aluminium, besi, dan mika.
5. **Silkosis paru**, disebabkan oleh debu silika (SiO_2).
6. **Asbestosis paru**, disebabkan debu yang mengandung serat abses.
7. **Berilliosis paru**, disebabkan debu berilium.

Bersyukur Tuhan melengkapi tubuh manusia dengan bulu hidung dan selaput lendir bronkus yang dapat menahan kira-kira 50% debu yang melayang di udara.

D. Gangguan Suara

Definisi bising secara subjektif menurut sejumlah ilmuwan dinyatakan sebagai bunyi yang tidak diinginkan, tidak disukai, dan mengganggu. Adapun definisi secara objektif adalah getaran bunyi kompleks yang meliputi berbagai frekuensi dan amplitudo, baik yang getarannya bersifat periodik maupun nonperiodik. Menurut Davis IR dan Hamernik PR, bising di tempat kerja merupakan masalah utama dalam kesehatan kerja di berbagai negara. Diperkirakan sedikitnya 7 juta orang (35% dari total populasi industri di Amerika dan Eropa) terpapar bising >85 dBA (Sumber: Jurnal Iptek Terapan, *Pengaruh Intensitas Paparan Bising, Masa Kerja dengan Gangguan Pendengaran Karyawan*. Diakses pada 28 Juni 2022).

Ada dua kategori bising, yaitu bising yang berasal dari alam, misalnya gemercik hujan, debur ombak, dan desau angin, dan bising hasil peradaban manusia, misalnya suara mesin-mesin pabrik, berisiknya pembangunan gedung, desing lalu lintas, dan deru pesawat terbang. Bahkan suara musik yang menurut pemainnya merdu dan enak didengar, tapi bagi sebagian orang dianggap suara bising yang sangat menjengkelkan.

Bising memiliki satuan frekuensi atau jumlah getaran per detik yang dituliskan dalam satuan Hertz dan intensitasnya dinyatakan dalam satuan desibel (dB). Berkaitan dengan pengaruhnya terhadap manusia, bising mempunyai satuan waktu atau durasi yang dinyatakan dalam jam per hari atau jam per minggu.

Semakin tua umur manusia maka semakin berkurang daya pendengarannya atau istilah asingnya disebut *presbicusis*. Apabila seseorang sering mendapat gangguan bising maka penurunan pendengarannya akan semakin cepat. Dalam lingkungan industri, bising dapat dikategorikan sebagai berikut.

1. ***Steady wide band noise***, yaitu bising kontinu berspektrum luas dan menetap dengan batas amplitudo ±5 dB untuk periode 0,5 detik, contohnya suara mesin dan kipas angin. Namun, bising kontinu juga dapat berspektrum sempit dan menetap (*steady narrow band noise*), misalnya bunyi gergaji sirkuler dan katup gas.

2. ***Intermitten noise*** atau bising terputus-putus, yaitu bising yang tidak kontinu, melainkan ada periode relatif berkurang, contohnya bunyi pesawat terbang dan lalu lintas kendaraan, bising karena pukulan kurang dari 0,1 detik (*impact noise*), atau bunyi pukulan berulang (*repeated impact noise*).
3. ***Explosive noise***, yaitu bising yang berasal dari ledakan tunggal. Kategori bising semacam itu memiliki perubahan tekanan bunyi melebihi 40 dB dalam waktu sangat cepat dan biasanya mengejutkan pendengarnya. Contohnya, bunyi ledakan, tembakan senapan, atau meriam.
4. ***Repeated explosive noise***, yaitu bising yang berasal dari ledakan berulang, contohnya suara mesin tempa di pabrik. Bising tersebut dapat terdengar datar atau berfluktuasi.

Penyelidikan menunjukkan bahwa persentase besar terjadinya gangguan pendengaran akibat kebisingan terjadi di sekitar bandar udara. Hasil penyelidikan lain menunjukkan bahwa serangan jantung banyak terjadi di tempat sumber bising.

Macam-macam gangguan kesehatan pada pekerja yang diakibatkan oleh kebisingan, antara lain:

1. **Gangguan fisiologi** yang mengakibatkan adanya peningkatan tekanan darah, percepatan denyut nadi, dan peningkatan ketegangan otot. Hal tersebut disebabkan peningkatan rangsangan sistem saraf otonom yang spontan.
2. **Gangguan psikologi** dapat berupa stres apabila bunyi tersebut tidak diinginkan dan mengganggu. Efeknya sulit tidur, emosional, dan konsentrasi berkurang.
3. **Gangguan komunikasi** dapat menyebabkan terjadinya kesalahan, misalnya tidak jelas mendengar instruksi yang diberikan.
4. **Gangguan pendengaran** akibat paparan bising mulai dari gangguan pendengaran ringan sampai berat. Akibat bising yang berlangsung lama juga menyebabkan kerusakan pada sel-sel rambut secara bertahap.
5. **Penurunan prestasi pekerja**.

Menurut Prof. Sudiro, umumnya kita tidak menyadari bahwa setiap tahun kebisingan itu bertambah rata-rata satu dB (desibel) akibat banyaknya kendaraan bermotor, mesin-mesin pabrik, pesawat udara, dan lain-lain, namun kebisingan tidak boleh menghambat kemajuan.

E. Alat-Alat Keamanan Kerja

Di dalam subbab ini akan dibahas beberapa alat keamanan (*work protective equipment*) yang diperlukan pada waktu bekerja, terutama alat-alat pelindung anggota badan. Di tempat-tempat tertentu seperti di hanggar pesawat seringkali kotor, misalnya kotor zat kimia saat pengelupasan cat pesawat, kotor akibat semprotan pengecatan pesawat, serta akibat debu dan partikel kecil saat pengelasan.



Gambar 2.3 *Personal protective equipment*

Badan kita harus terlindungi saat melaksanakan pekerjaan. Alat-alat pelindung bagian badan terdiri atas:

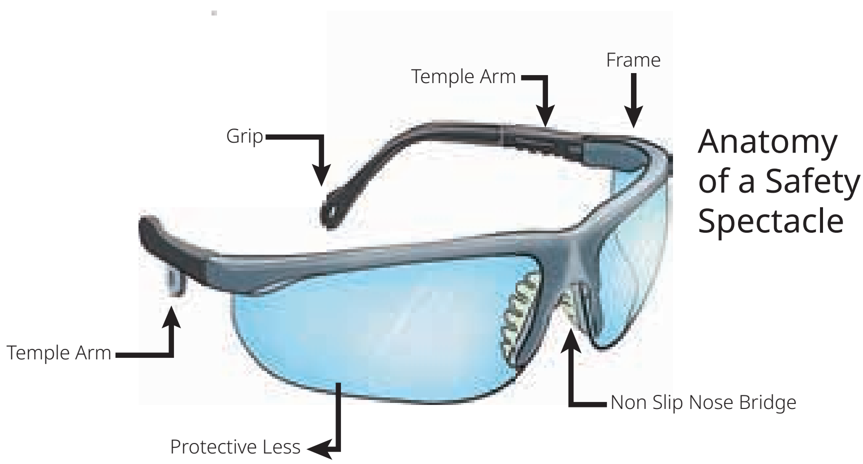
1. Alat Pelindung Muka dan Mata

Alat pelindung muka (*face protective equipment*) yang kita kenal misalnya *face shield*, *face screen*, dan untuk kepentingan kerja las ada *visor* (kedok) yang (beragam bentuknya). *Face shield* bisa ditemukan dalam berbagai model, tapi bagian utamanya adalah tameng plastik bening yang menutup wajah.



Gambar 2.4 *Face Protective Equipment*
(Sumber: Environmental Health & Safety, Eastern Washington University, 2017)

Tidak hanya wajah, mata juga harus terlindungi dari panas, radiasi, sinar yang menyilaukan, gas/aerosol, proyektil, percikan logam, dan debu. Alat pelindungnya biasanya berbentuk kacamata dan disesuaikan dengan kebutuhan lingkungan kerja, antara lain *safety spectacles*, *goggles*, dan *visor*.



Gambar 2.5 *Safety spectacles* dan bagian-bagiannya

Bagian dari kacamata pelindung (*safety spectacles*) ialah:

a. Bingkai (*frame*) yang kenyal dan nyaman.
b. Lensa pelindung (*protective lens*).
c. Keping hidung yang antislip.
d. Gagang yang bisa disetel (*temple arm adjustable*) agar nyaman dalam pemakaian.
e. Ujung gagang (*temple grip*).



Gambar 2.6 *Safety goggles*
(Sumber: Joom.com/lightome, 2022)

Goggles adalah alat pelindung mata yang sering kita jumpai di bengkel-bengkel. Lensanya berwarna bening dan bisa mereduksi keparahan kecelakaan mata sampai dengan 90%, namun bukan untuk melindungi mata dari radiasi. *Goggles* tersedia dalam beraneka ragam bentuk.

Helm dan kedok atau topeng las adalah alat yang memiliki fungsi melindungi bagian wajah dari percikan las, panas pengelasan, dan sinar las ke bagian mata. Helm las ini terbuat dari plastik tahan panas. Selain itu terdapat dua jenis kaca (bening dan hitam) yang berfungsi untuk melindungi mata dari bahaya sinar tampak dan ultraviolet saat melakukan pengelasan.



Gambar 2.7 Helm las digunakan saat mengelas.
(Sumber: hobartwelders.com, 2019)

2. Alat Pelindung Kepala

Alat pelindung kepala (*head protective equipment*) berfungsi melindungi kepala dari risiko tetesan atau percikan bahan kimia, benda jatuh, benda terbang, risiko kepala terbentur, rambut terpuntir saat bekerja menggunakan alat yang terputar, misalnya mesin bor, atau melindungi kepala dari percikan api saat mengelas. Pilihan yang tersedia antara lain *safety helmet*, *bump caps*, *hairnets*, dan *firefighter helmets*, menyesuaikan dengan lingkungan pekerjaannya.



Gambar 2.8 *Safety helmet*
(Sumber: pngegg.com, 2022)

3. Alat Pelindung Telinga

Alat pelindung telinga (*ear protective equipment*) ialah alat yang melindungi telinga dari gemuruh mesin yang bising, juga penahan bising dari letupan-letupan. Pelindung telinga bisa berbentuk penutup telinga (*earmuff*) dan penyumbat telinga (*earplug*).



Gambar 2.9 *Earmuff* dan *earplug*
(Sumber: hsi magazine/Arto Makinen, 2007)

4. Alat Pelindung Pernapasan

Fungsi alat pelindung pernapasan adalah untuk melindungi organ pernapasan dengan cara menyalurkan udara bersih dan sehat dan/atau menyaring cemaran bahan kimia, asap, partikel debu, mikroorganisme, kabut (aerosol), uap, gas (*fume*), dan lain-lain.

Jenis alat pelindung pernapasan dan perlengkapannya terdiri atas:

a. Masker

b. Respirator

c. Tabung *cartridge*

d. Tangki selam dan regulator

e. *Self-contained breathing apparatus* (SCBA)

Masker saat ini pemakaiannya diwajibkan di seluruh bidang pekerjaan sehubungan dengan pandemi Covid-19 yang saat ini mewabah. Masker tersedia dari bahan kain (*cotton*), ada juga dari spunbon, dengan ditambah bahan lain sebagai lapisan.



(a) Masker

(b) Respirator

(c) *Self-contained breathing apparatus* (SCBA)

Gambar 2.10 Jenis-jenis alat pelindung pernapasan
(Sumber: dreamstime.com/Psartdesignstudio, 2022)

5. Alat Pelindung Tangan

Alat pelindung tangan (*hand protective equipment*) yang umum adalah sarung tangan untuk melindungi jari-jari tangan dari percikan api, suhu panas atau dingin, radiasi, arus listrik, bahan kimia, benturan atau pukulan, tergores benda tajam, atau infeksi. Terbuat dari bermacam-macam bahan disesuaikan dengan kebutuhannya, antara lain:



Gambar 2.11 Sarung tangan kain
(Sumber: Stationery World, 2022)

a. Sarung tangan kain (*protective cloth gloves*), digunakan untuk memperkuat pegangan supaya tidak meleset. Biasakan memakai sarung tangan kain saat memegang suatu benda yang berminyak dari bagian-bagian mesin atau bahan baja. Mengamankan tangan dari minyak dan lemak merupakan tindakan keselamatan kerja saat memegang pada permukaan yang licin.



Gambar 2.12 Sarung tangan asbes
(Sumber: Apex Trading and Services, 2022)

b. Sarung tangan asbes (*asbestos gloves*), terutama digunakan untuk melindungi tangan terhadap bahaya pembakaran api dan benda panas, seperti dalam pengelasan dengan las listrik dan pekerjaan menempa.



Gambar 2.13 Sarung tangan kulit
(Sumber: L.D Group of Industries, 2017)

c. Sarung tangan kulit (*leather gloves*), digunakan untuk memberi perlindungan dari ketajaman sudut pada perlengkapan yang berbobot apabila perlengkapan itu dipegang atau diangkat.



Gambar 2.14 Sarung tangan karet
(Sumber: u-buy.jp/Jewboer, 2022)

d. Sarung tangan karet (*rubber gloves*), terutama digunakan pada saat pelapisan logam, seperti pernikel dan perkrom, untuk menjaga tangan dari bahaya pembakaran asam atau melindungi dari rasa pedih cairan pada bak atau panci di mana pekerjaan itu berlangsung. Sarung tangan karet juga digunakan untuk melindungi kulit tangan akibat embusan udara saat membersihkan mesin menggunakan kompresor.

6. Alat Pelindung Kaki

Untuk perlindungan kaki (*feet protective equipment*) digunakan sepatu yang terbuat dari beragam material dan pilihan pola sol. Guna sepatu ini untuk melindungi kaki dari basah, terpeleset, dingin, panas, tertimpa benda, terbakar, sengatan listrik, tusukan benda tajam, siraman zat kimia, atau terlindas roda.

Sepatu keamanan (*safety shoes*) harus terbuat dari bahan yang disesuaikan dengan kebutuhan tempat bekerja, karena kondisi ruang kerja bisa saja berisiko oleh tumpahan minyak, cairan zat kimia, atau benda yang bermuatan listrik. Ada *safety shoes* yang terbuat dari karet (*rubber boot*) atau kulit (*leather boot*) dengan pelindung jari berupa logam di ujungnya (Gambar 2.15c).



(a) *rubber boot*



(b) *Leather boot*

Gambar 2.15 Jenis-jenis *safety shoes*

(Sumber: (a) jiji.ng/Donatus Ifoh, 2020; (b) LOTO Safety Requisites Trading, 2020)



Gambar 2.16 Bagian-bagian dari *leather boot*

(Sumber: superoshoes.com/SAFETOE, 2022)

7. Pakaian Pelindung Badan

Pakaian pelindung (*protective clothes*) berguna untuk melindungi badan dari panas, percikan bahan kimia atau logam, kebocoran dari semprotan tekanan atau dari pistol semprot, debu, benturan, atau tersangkut pakaiannya sendiri. Pakaian pelindung bisa berbentuk celemek (*apron*), *conventional overalls*, *disposable overalls*, rompi keselamatan (*safety vest*), jaket pelampung (*life jacket*), jas hujan, *chemical suits*, dan lain-lain.



Gambar 2.17 Apron kulit (*leather apron*)
(Sumber: saddlebackleather.com, 2022)

a. ***Apron*** berbahan kulit dipakai untuk perlindungan dari rambatan panas nyala api.



Gambar 2.18 *safety vest*
(sumber: nsscanada.com, 2020)

b. **Rompi keselamatan** (*safety vest*) biasanya berwarna mencolok agar pekerja mudah terlihat. Ada juga yang menyebutnya rompi menyala karena ada bagian dari rompi tersebut yang bisa menyala pada saat gelap.



Gambar 2.19 (a) *Conventional overall* dan (b) *Disposable overall*
(Sumber: (a) safetysuppliesamerica.com, 2022; (b) Istawred Medical, 2021)

c. ***Overalls*** atau ada juga yang menyebutnya *coveralls* adalah baju yang menutupi seluruh badan. Selain *overall* yang biasa (*conventional overall*), ada pula *overall* sekali pakai (*disposable overall*), biasanya dipakai para pekerja yang berkaitan dengan zat kimia dan pekerja di bidang medis.



Gambar 2.20 *Life Jacket*
(Sumber: CV Niaga Jaya, 2021)

d. ***Life jacket*** atau pelampung tersedia berbagai tipe. Baju ini dilengkapi dengan *harness* yang harus dikait untuk jaminan keselamatan.



Gambar 2.21 *Chemical Suits*
(Sumber: bunzlsafety.com.au, 2022)

e. ***Chemical suits*** khusus dipakai pekerja yang bekerja di lingkungan yang berkaitan dengan zat kimia.



Gambar 2.22 Jas hujan
(Sumber:Wasip, LTD, 2022)

f. **Jas hujan** berfungsi untuk melindungi tubuh pekerja dari air. Jas hujan juga lazim dipakai oleh pengendara motor untuk melindungi tubuh mereka dari hujan.

8. Alat Pelindung Jatuh Perorangan

Beberapa pekerjaan mengharuskan pekerjanya untuk bekerja pada ketinggian atau berada dalam ruangan sempit di bawah tanah. Alat pelindung jatuh perorangan (*individual fall protective equipment*) berupa sabuk dan tali keselamatan berfungsi untuk membatasi gerakan seorang pekerja agar tidak terjatuh atau terlepas dari posisi aman. Alat ini menjaga pekerja berada pada posisi kerja, baik dalam keadaan miring maupun tergantung, dan menahan pekerja yang terjatuh agar tidak membentur lantai dasar.

Jenis alat pelindung jatuh perorangan terdiri atas sabuk pengaman tubuh (*harness*), karabiner, tali koneksi (*lanyard*), tali pengaman (*safety rope*), alat penjepit tali (*rope clamp*), alat penurun (*decender*), alat penahan jatuh bergerak (*mobile fall arrester*), dan lain-lain.



Gambar 2.23 Alat pelindung jatuh perorangan
(Sumber: Apac Builders Equipment, 2021)



Gambar 2.24 *Full body harness*
(Sumber: Safpack Industrial Supplies, 2019)

F. Alat-Alat Pemadam Kebakaran

Sebelum ada peralatan dan bahan pemadam api kebakaran seperti sekarang, petugas menggunakan tangga untuk mencapai area yang terbakar, tongkat berkait untuk menarik dan mendorong agar bangunan yang sedang terbakar runtuh, dan pasir dengan sekopnya untuk menimbun sumber nyala api atau karung goni yang dibasahi air. Semakin bertambahnya zaman, peralatan pemadam kebakaran ini pun semakin berkembang.

Setiap api kebakaran dapat dipadamkan, tetapi tidak sama cara memadamkannya. Kesalahan cara memadamkan api kebakaran dapat mengakibatkan bahaya yang lebih besar, misalnya api akan semakin berkobar.



Gambar 2.25 Set perlengkapan pemadam kebakaran
(Sumber: freepik.com/macrovector)

Air dan pasir adalah bahan yang paling murah dan baik untuk mematikan api, tetapi tidak dapat digunakan pada segala macam kebakaran. Air bisa dipakai untuk memadamkan kebakaran yang disebabkan oleh kertas, kayu, kain, dan benda-benda sejenisnya. Sedangkan untuk kebakaran akibat listrik tidak boleh menggunakan air karena air termasuk penghantar listrik. Untuk kebakaran jenis minyak sebaiknya menggunakan bahan kimia yang tersedia dalam tabung *extinguiser* yang dijual di toko-toko alat pemadam kebakaran. Untuk kebakaran akibat listrik sebaiknya menggunakan *dry powder*.

1. *Fire Extinguisher*

Pada setiap tabung pemadam kebakaran (*extinguisher*) selalu diberi kode untuk tipe dan penggunaannya. Kode ini berguna untuk mengenali isi dan petunjuk penggunaannya.

a. Tabung bersimbol huruf "A" yang terletak dalam segitiga berwarna hijau dipakai untuk memadamkan kebakaran dari kayu, kertas, kain, atau bahan sejenisnya.
b. Tabung bersimbol huruf "B" di dalam persegi panjang berwarna merah digunakan untuk memadamkan kebakaran dari jenis minyak, cat, ter, terpenting, dan sejenisnya.
c. Tabung dengan simbol huruf "C" di dalam lingkaran berwarna biru dapat dipakai untuk memadamkan api listrik, api akibat terbakarnya isolasi listrik, atau pemadaman terhadap panel sakelar, motor listrik, dan sebagainya.

d. Tabung bersimbol huruf “D” di dalam bintang yang berwarna kuning dipakai untuk memadamkan api kebakaran yang diakibatkan oleh logam, seperti magnesium, potasium, sodium, dan titanium.



Gambar 2.26 *Fire extinguisher*
(sumber: freepik.com/macrovector)

Bagian-bagian tabung *fire extinguisher* yaitu pin pengaman (*safety pin*), tuas (*lever*), pegangan (*handle*), selang (*hose*), pengukur tekanan (*pressure gauge*), corong (*nozzle*), dan tabung (*cylinder*).

Untuk petunjuk penggunaannya perhatikan gambar berikut.



Gambar 2.27 Cara penggunaan *fire extinguisher*
(Sumber: marineinsight.com/mohit, 2012)

Untuk melepaskan pin pengaman, peganglah tabung dalam posisi tegak (Gambar 2.26), lalu lepaskan pipa dari klip selang. Pijit tuasnya, lalu arahkan corong (*nozzle*) ke pangkal api dengan gerakan menyapu sumber nyala api.

Perhatian, tuas pengatup tidak boleh dipijit, kecuali untuk memadamkan. Mantapkan hati sewaktu mengatasi kebakaran. Arahkan pancaran zat pemadam ke sumber nyala api dengan gerakan menyapu. Apabila kebakaran terjadi di luar bangunan dan kebetulan ada angin maka arah pancaran zat pemadam harus searah dengan arah angin, baik dari samping kiri maupun kanan.

2. *Hydrant*

Di bengkel besar, pada tiap bangsal dipasang kotak dari besi pelat berbentuk lemari yang bercat merah bertuliskan "*Hydrant*". Di dalamnya terdapat keran air dan selang katun yang panjangnya ±50 meter dan bergaris tengah 5 hingga 7 cm.



Gambar 2.28 Bagian-bagian *hydrant*
(Sumber: firehydrant.id, 2018)

Cara penggunaannya, tarik ujung penyemprot yang terbuat dari logam dan arahkan ke tempat api berkobar. Bukalah keran air maka air akan menyembur melalui selang katun. Semburan air atau *hydrant* ini jangan digunakan untuk memadamkan kebakaran akibat minyak dan kebakaran pada penghantar listrik selama stopkontak induk belum diputuskan.

G. Penanganan Keadaan Darurat

Beberapa langkah yang harus dilakukan para pekerja demi menghindari keadaan darurat terjadi di tempat kerja, yaitu:

1. Mengidentifikasi dan menganalisis sumber bahaya pada lingkungan kerja. Misalnya, apabila terdapat gangguan kebisingan, periksalah lingkungan dengan alat *sound level meter* (SLM).
2. Mengontrol kebahayaan dan melakukan kontrol juga secara administrasi.
3. Memeriksa pekerja yang terpapar gangguan secara berkala.
4. Menggunakan alat pelindung diri saat bekerja.

Tindakan mengontrol kebahayaan dapat dilakukan dengan cara pengendalian pada sumber bahaya. Misalnya, mengatur ulang letak sumber bahaya, memberi jarak antara sumber bahaya dengan pekerja, mengatur waktu operasi mesin, meredam kebisingan, mengecilkan volume, pembatasan lalu lintas barang dan orang, memasang peredam, menyediakan peralatan keselamatan pekerja, serta memberikan pelatihan dan pendidikan keselamatan kerja kepada pekerja.

Apabila terjadi keadaan darurat, maka:

1. Setiap pekerja dan pengguna jasa yang mengetahui adanya keadaan darurat harus melaporkannya kepada tim penanganan keadaan darurat.
2. Tim K3 penanggulangan keadaan darurat bertanggung jawab menangani keadaan darurat yang ada. Untuk keadaan darurat kebakaran, penggunaan alat pemadam harus mengikuti standar penggunaan APAR.
3. Jika keadaan darurat tidak dapat ditangani oleh tim penanggulangan keadaan darurat maka koordinator tim harus segera menghubungi pihak luar terkait untuk meminta bantuan.
4. Setelah keadaan terkendali, koordinator tim bertanggung jawab melakukan koordinasi investigasi maksimal dalam 2 x 24 jam.
5. Segera lakukan pemulihan keadaan setelah keadaan terkendali.
6. Simpan semua rekaman investigasi sesuai prosedur pengendalian ke dalam catatan pengendalian.

1. Peralatan Keadaan Darurat

a. Tim K3 bertanggung jawab mengidentifikasi semua peralatan keadaan darurat, tuangkan ke dalam formulir daftar peralatan keadaan darurat.

b. Tim K3 bertanggung jawab memastikan peralatan keadaan darurat dalam kondisi baik dan siap pakai. Untuk kepentingan ini, lakukan inspeksi peralatan keadaan darurat, gunakan formulir *check list* APAR, *check list* kotak P3K, dan *check list* boks sistem alarm.

c. Tim K3 harus memastikan prosedur selalu dipelihara dan dilaksanakan pengendalian rekaman dan informasi.

2. Catatan Terkait Keadaan Darurat

a. Daftar potensi keadaan darurat

b. Daftar nomor telepon penting

c. Struktur organisasi tim tanggap darurat

d. Tugas dan tanggung jawab tim tanggap darurat

e. Jadwal uji coba keadaan darurat

f. Evaluasi uji coba keadaan darurat

g. Laporan investigasi keadaan darurat

h. Daftar peralatan keadaan darurat

i. *Check list* APAR

j. *Check list* kotak P3K

k. *Check list* boks sistem alarm

l. Standar tanggap darurat kebakaran

m. Standar tanggap darurat gempa bumi

n. Standar tanggap darurat terkena bahan kimia/wabah biologi

o. Standar tanggap darurat evakuasi

p. Standar penggunaan APAR

3. Petunjuk Evakuasi dalam Keadaan Darurat Kebakaran

a. Saat melihat api, tetap tenang dan jangan panik.

b. Segera hubungi petugas sekuriti. Sekuriti segera menghubungi layanan pemadam kebakaran di wilayah setempat.

c. Menjauh dari sumber api dan asap.

d. Segera menuju pintu darurat di lantai dasar dan tangga bagi yang di lantai atas; hindari penggunaan lift.

e. Bila memungkinkan gunakan alat pemadam api ringan (APAR) untuk memadamkan api.

f. Bila tidak, berjalanlah biasa dengan cepat; jangan lari.

g. Jangan membawa barang yang besar, tas kantor, atau tas tangan yang dapat mengganggu gerakan.

h. Bila api membesar, tetap tenang dan tertib meninggalkan gedung sesuai petunjuk/jalur yang ada.

i. Bila terjebak asap kebakaran, tetap menuju tangga dengan mengambil napas pendek-pendek; upayakan bergerak merayap atau merangkak, jangan berbalik arah karena akan bertabrakan dengan orang-orang di belakang kalian. Bila harus menerobos asap maka tahan napas dan lari menuju jalur evakuasi.

4. Petunjuk Evakuasi Keadaan Darurat Gempa Bumi

a. Tetap tenang dan jangan panik.

b. Bila memungkinkan, segera lari keluar gedung sesuai petunjuk/jalur evakuasi. Bila tidak, carilah tempat berlindung yang dirasa aman, antara lain:

- Di samping lemari atau meja dalam posisi merunduk dengan tangan melindungi kepala.
- Di samping pintu dalam posisi setengah terbuka/jangan ditutup.
- Di samping benda/sofa yang cukup kuat menopang benda jatuh.
- Jangan berlindung di bawah tangga dan jauhi area tangga.

Aktivitas Pembelajaran

I. Mengidentifikasi Isi Materi Pembelajaran

Berdiskusilah dengan teman satu kelompok untuk membahas hal-hal berikut.

1. Uraikan mengapa kemajuan industri bisa mengakibatkan bertambahnya pencemaran lingkungan!

2. Secara umum, pencemaran lingkungan disebabkan adanya pencemaran industri. Betulkah fakta tersebut? Jelaskan!
3. Jelaskan fungsi masing-masing tabung *extinguisher* bersimbol A, B, C, dan D!
4. Jelaskan aspek-aspek yang dibutuhkan saat penanganan keadaan darurat!
5. Uraikan catatan apa saja yang terkait dengan keadaan darurat!
6. Jelaskan petunjuk evakuasi dalam keadaan darurat saat terjadi kebakaran dan gempa bumi!

II. Menonton Video yang Berkaitan dengan K3LH

Silakan kalian cari video di kanal YouTube yang bertema:

1. Pencemaran lingkungan hidup
2. Cara menggunakan alat-alat keselamatan kerja (APD)
3. Simulasi evakuasi keadaan darurat (kebakaran, gempa bumi, dan banjir)

III. Memperagakan Penggunaan APD dan Simulasi Kondisi Darurat

Sesuai kondisi yang ada di sekolah kalian, silakan peragakan:

1. Cara menggunakan APD
2. Simulasi evakuasi keadaan darurat gempa bumi
3. Simulasi evakuasi saat terjadi kebakaran

Rangkuman

1. Beberapa cara untuk menghindari kondisi kedaruratan atau bahaya saat bekerja, yaitu pekerja harus mengenali keadaan di sekitarnya, mampu mengontrol bahaya, memeriksa secara berkala segala potensi bahaya, dan menggunakan alat pelindung diri.
2. Demi keamanan dan keselamatan, para pekerja harus mengenakan alat-alat pelindung diri sesuai kondisi di lapangan. Contoh alat pelindung diri yaitu *safety shoes*, *boot*, *safety rope*, *safety helmet*, *face shield*, *google*, *visor*, *spectacles*, *overalls*, *chemical suits*, *apron*, *pelampung*, jas laboratorium, jas hujan, sarung tangan, respirator, masker mulut, masker las, *earmuff*, dan *earplug*.

3. Perkembangan dan kemajuan industri mengakibatkan bertambahnya pencemaran lingkungan. Pencemaran tersebut akibat pembuangan sisa-sisa proses produksi yang dapat berbentuk gas, cair, atau padat, atau berupa panas, radiasi, bunyi, dan lain-lain.
4. Masalah pencemaran yang terjadi di industri pengolahan besi dan baja yaitu debu polutan yang sangat kecil yang apabila terhirup berpotensi terkena penyakit *pneumoconiosis*.
5. Gangguan suara merupakan suatu kebisingan yang sulit untuk diatasi. Orang yang terkena gangguan ini tidak hanya menurunkan daya dengarnya, tetapi juga stres.
6. Setiap api kebakaran dapat dipadamkan, tetapi tidak sama cara memadamkannya, contohnya air dilarang untuk memadamkan api yang terjadi akibat penghantar listrik selama stopkontak induk belum diputuskan.
7. Pada setiap tabung pemadam kebakaran (*extinguisher*) selalu diberi keterangan, baik tipe maupun penggunaannya dengan simbol huruf A, B, C, dan D.
8. Apabila terjadi keadaan darurat pekerja harus melaporkan ke instansi terkait, tahu letak alat kedaruratan berada, mampu menyelamatkan diri sesuai prosedur, mampu berkoordinasi dengan rekan kerja, dan bisa melakukan investigasi setelah keadaan terkendali.
9. Bila terjadi gempa bumi di tempatmu, tetaplah tenang dan lari keluar bangunan. Jika tidak memungkinkan, berlindunglah di balik lemari, di bawah meja, atau di samping benda yang dirasa cukup kuat menopang benda jatuh.

Tes Formatif

1. Mengapa perkembangan dan kemajuan industri bisa mengakibatkan bertambahnya pencemaran lingkungan?
2. Secara umum, pencemaran lingkungan disebabkan adanya pencemaran industri. Berikan dua contoh pencemaran tersebut!
3. Jelaskan pengertian dari *threshold limit value*!
4. Apa yang dimaksud dengan standar emisi?

5. Sebutkan empat alat pembersih butiran partikel yang mengotori udara!
6. Tuliskan definisi debu secara ilmiah!
7. Penyakit apa yang timbul akibat terlalu lama menghirup debu?
8. Jelaskan pengertian dari bising!
9. Satuan apa yang menyatakan ukuran intensitas kebisingan suara?
10. Sebutkan lima alat pelindung anggota badan saat bekerja!
11. Jelaskan perbedaan fungsi antara sarung tangan kain, sarung tangan asbes, sarung tangan kulit, dan sarung tangan karet!
12. Jelaskan perbedaan fungsi extinguisher dengan simbol A, B, C, dan D!
13. Sebutkan tiga dari enam aspek penanganan keadaan darurat!
14. Sebutkan enam macam catatan terkait keadaan darurat!
15. Sebutkan lima dari sembilan petunjuk evakuasi dalam keadaan darurat kebakaran!

Refleksi

Beri tanda centang (√) pada kolom di bawah ini, jika kalian telah paham!

☐	Memahami dan mengenali lingkungan sekitarmu berada.
☐	Mengenal potensi bahaya di tempat sekitarmu berada.
☐	Mampu menerapkan praktik kerja yang aman.
☐	Memahami prosedur tanggap darurat.
☐	Memahami dan mampu mengontrol kebahayaan.
☐	Mengerti standar operasional yang aman.

Jika ada materi yang belum kalian pahami, silakan diskusikan bersama temanmu yang sudah paham atau tanyakan kepada gurumu.

Pengayaan

Untuk menambah wawasan kalian mengenai ruang lingkup kesehatan dan keselamatan kerja di berbagai industri di belahan dunia, telusuri berbagai situs yang ada di internet. Sebagai contoh, www.safetysign.co.id, www.coursehero.com, dan sebagainya.

www.safetysign.co.id

KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET, DAN TEKNOLOGI
REPUBLIK INDONESIA, 2022
Dasar-Dasar Teknik Pesawat Udara
untuk SMK/MAK Kelas X
Penulis: Maruli Tua, Asep Gunawan
ISBN: 978-623-388-011-4 (PDF)

Bab III

Gambar Teknik

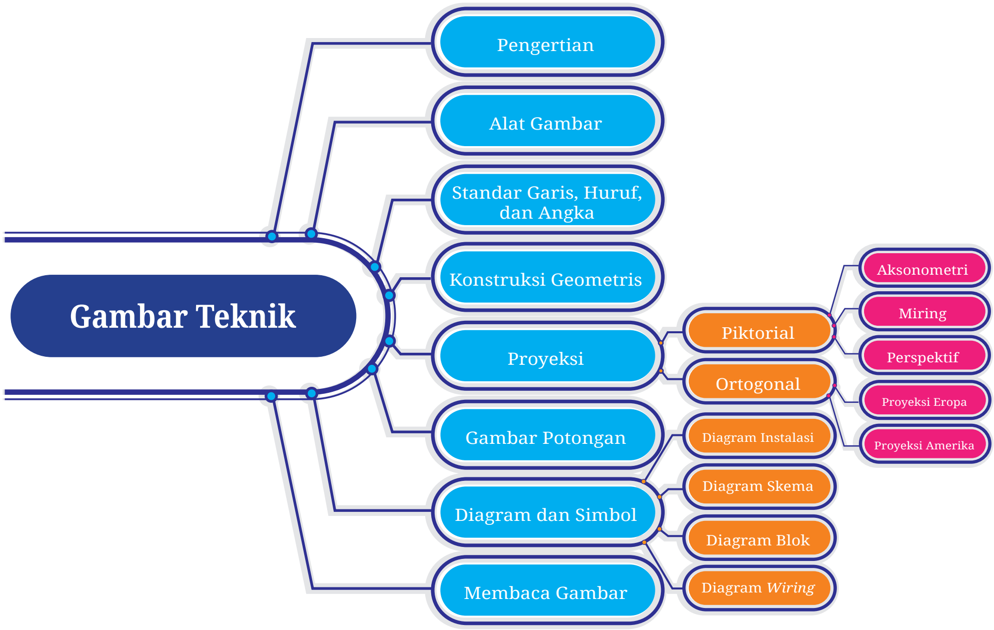


Tujuan Pembelajaran

Setelah mempelajari materi ini diharapkan kalian dapat:

1. Memahami pengertian dan fungsi gambar teknik.
2. Mengenal peralatan gambar teknik standar.
3. Menerapkan garis, huruf, dan angka dengan baik.
4. Memahami dan menerapkan sistem proyeksi.
5. Menerapkan prinsip-prinsip gambar potongan.
6. Menafsirkan atau dapat membaca gambar teknik untuk pekerjaan pembuatan *part* dan pemeliharaan pesawat udara.

Peta Konsep



Kata Kunci: *Teknisi pesawat udara, title block, konstruksi geometris, proyeksi piktorial, gambar isonometri, proyeksi Eropa, proyeksi Amerika, arsiran*

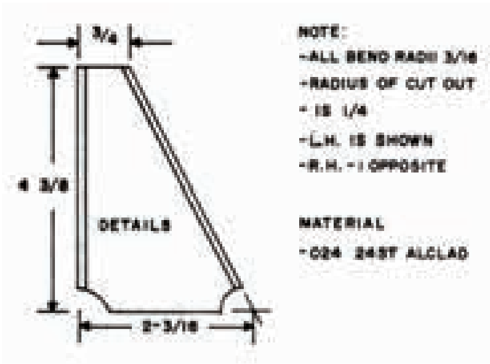
Bagaimana sebuah produk dibuat? Dengan cara apa insinyur menyampaikan ide atau gagasannya kepada pekerja atau operator untuk diproduksi? Bagaimanakah suatu perintah pekerjaan perbaikan dan pemeliharaan pesawat terbang disampaikan kepada teknisi?

Perlu suatu bahasa yang baku yang berlaku secara internasional untuk meneruskan informasi secara tepat, yaitu suatu sarana untuk menuangkan gagasan melalui penggunaan simbol, garis, dan ketentuan-ketentuan lain yang sama-sama dipahami secara baku oleh desainer teknik, operator, teknisi, dan orang lain secara internasional. Sarana yang dimaksud adalah gambar teknik (*technical drawing*).

A. Pengertian Gambar Teknik

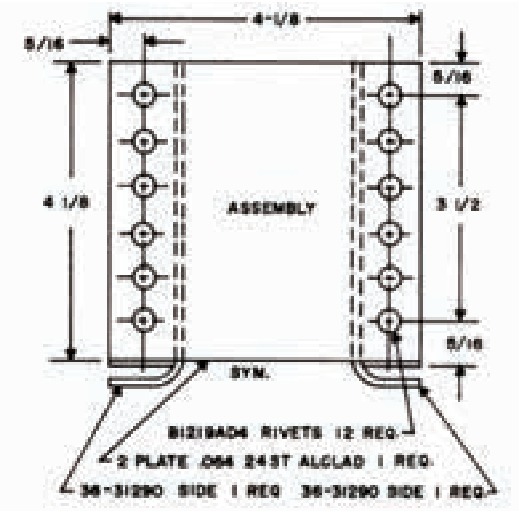
Gambar teknik sering disebut bahasa teknik. Semua pekerjaan bidang pembuatan komponen, perakitan, perawatan dan pengoperasian pesawat udara tidak lepas dari penggunaan gambar teknik sebagai alat komunikasi. Gambar teknik harus memberikan informasi bentuk, ukuran, dan spesifikasi bahan yang akan digunakan, bagaimana bahan itu diperlakukan, bagaimana merakit komponen-komponen itu, dan informasi penting lainnya. Gambar teknik dapat dibagi menjadi tiga kategori, yaitu gambar detail, gambar perakitan (*assembly*), dan gambar pemasangan (*installation*).

1. **Gambar detail** adalah gambar satu bagian yang dideskripsikan dengan ukuran, simbol, bentuk, bahan, dan metode pembuatan yang akan digunakan dalam produksi.



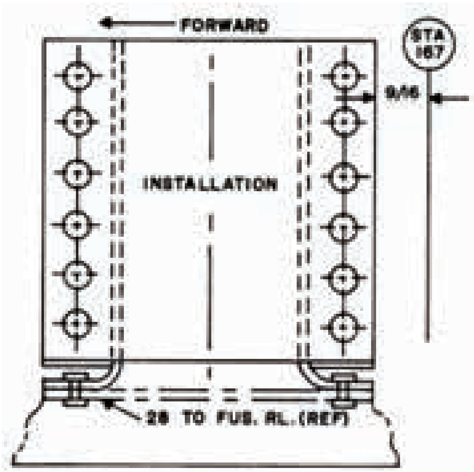
Gambar 3.1 Gambar detail
(Sumber: Aircraft Drawing/Mani Rathinam Rajamani, 2016)

2. **Gambar perakitan** (*assembly*) adalah gambar yang mendeskripsikan perakitan dua atau lebih komponen. Di sini diperlukan ukuran umum agar dapat diketahui hubungan antara komponen satu dengan lainnya.



Gambar 3.2 Gambar perakitan
(Sumber: Aircraft Drawing/Mani Rathinam Rajamani, 2016)

3. Gambar instalasi/ pemasangan (*installation*) adalah gambar yang mencakup semua informasi yang diperlukan untuk suatu bagian atau perakitan di bagian akhir posisi terpasang di pesawat.



Gambar 3.3 Gambar instalasi/pemasangan
(Sumber: Aircraft Drawing/Mani Rathinam Rajamani, 2016)

Selain tiga kategori gambar tersebut, kita juga mengenal gambar diagram. Diagram didefinisikan sebagai representasi grafik suatu rakitan atau sistem yang menunjukkan berbagai bagian dan mengungkapkan metode atau prinsip kerjanya.

B. Alat Gambar

Alat-alat gambar terdiri atas meja gambar, kertas, pensil, jangka, mistar, mistar T, dan alat pendukung lainnya seperti penjepit kertas, mal lengkung, mal bulat, mal huruf dan angka, dan lain-lain.

1. **Meja gambar**; Terbuat dari kayu yang kokoh, permukaannya rata, sambungan papannya halus, tepi mejanya rata, saling tegak lurus, dan licin agar mudah menggeser mistar saat menggambar. Kemiringan papan meja dapat disesuaikan agar kita bisa menggambar dengan baik.

Tabel 3.1 Ukuran kertas dan papan meja gambar

Ukuran Kertas	Ukuran Meja (dalam mm)
A0	950 × 1.270
A1	650 × 920
A2	470 × 650
A3	336 × 470



Gambar 3.4 Meja gambar
(Sumber: DEW Drafting Supplies, 2016)

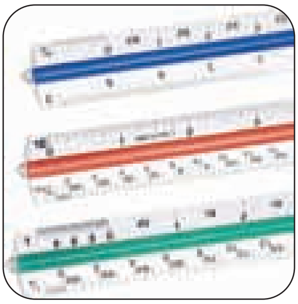
2. **Kertas gambar**; Jenis kertas gambar yang biasa digunakan antara lain kertas padalarang, kertas manila, dan kertas kalkir. Ukuran dasar kertas gambar memiliki luas 1 m^2 dengan ukuran sisi-sisinya 1 : √2. Bila ini dihitung maka kita mendapat ukuran normalisasi seperti pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Ukuran kertas gambar

Ukuran Kertas Seri A	Ukuran Kertas (dalam mm)	Garis Tepi (dalam mm)	Garis Tepi Kiri (dalam mm)
A0	841 × 1.189	10	20
A1	594 × 841	10	20
A2	420 × 594	10	20
A3	297 × 420	10	20
A4	210 × 297	5	20

3. **Pensil**; Khusus gambar, pakailah pensil yang tidak merusak kertas agar menghasilkan gambar yang bersih. Ada dua jenis pensil, yaitu pensil biasa dan pensil mekanik. Berdasarkan sifat dan kekerasannya, pensil dikelompokkan menjadi tiga jenis, yaitu keras, sedang, dan lunak. Kenali kode huruf dan angka yang terdapat di badan pensil, misalnya H (*hard*), B (*black*), F (*firm*), dan HB (*hard black*). Jenis pensil lunak/hitam (*black*): 4B, 3B, 2B, dan B. Jenis pensil sedang/agak keras (*firm*): HB dan F. Jenis pensil keras (*hard*): 1H s.d. 4H. Ujung pensil harus diruncingkan ±35 mm. Ada juga pensil mekanik yang tebal-tipis maupun besar-kecilnya garis telah tersedia pada setiap mata pensilnya, sangat praktis tak perlu meraut.

4. **Jangka**; Jangka gambar mempunyai dua kaki, yaitu kaki untuk pensil dan kaki lainnya untuk jarum. Kaki untuk jarum mempunyai jepitan jarum yang dapat disetel kekerasan jepitannya dan jarumnya bisa diganti. Jangka digunakan untuk membuat lingkaran, busur lingkaran, membagi garis, membagi sudut, dan sebagainya. Jenis dan macam jangka bisa kalian temukan di internet.
5. **Mistar segitiga**; Mistar segitiga terbuat dari plastik transparan, sehingga garis-garis yang telah dibuat dan ada di bawah mistar tetap bisa dilihat oleh penggambar. Mistar segitiga tersedia dengan kombinasi sudut 45°-90°- 45° dan kombinasi sudut 30°- 90°-60°.
6. **Mistar ukur dan mistar skala**; Kedua mistar ini memiliki bentuk lurus, gunanya untuk mengukur gambar agar tepat ukurannya. Mistar ukur tidak boleh digunakan untuk menarik garis karena bagian sisi tajamnya akan cepat rusak. Adapun mistar skala digunakan untuk membuat gambar sesuai skala yang diminta.



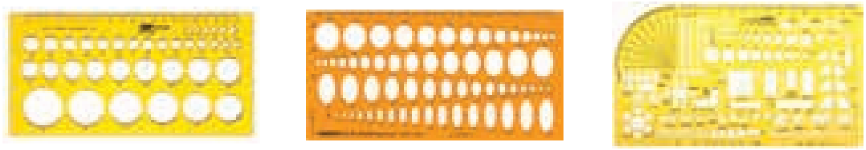
Gambar 3.5 Mistar skala
(Sumber: ubuy.co.id/Nicunom, 2020)

7. **Mal lengkung**; Digunakan untuk membuat garis-garis lengkung yang tidak mungkin dibuat dengan jangka.



Gambar 3.6 Mal lengkung
(Sumber: Melbourne Artists Supplies, 2022)

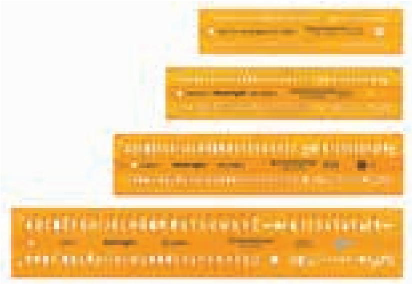
8. **Mal bulat, mal ellips, dan mal bentuk**; Ketiga alat ini digunakan untuk mempercepat kerja membuat lingkaran, ellips, dan bentuk-bentuk tertentu.



(a). Mal bulat (b). Mal elips (c). Mal Bentuk tertentu

Gambar 3.7 Jenis-jenis mal
(Sumber: (a) Bayan eShop, 2022; (b) Linographindia, 2019; (c) alexnld.com, 2018)

9. **Mal huruf dan angka**; Kedua alat ini digunakan untuk mendapatkan tulisan yang memiliki bentuk dan ukuran standar.



Gambar 3.8 Mal huruf dan angka
(Sumber: wikipedia.org/Lucasbosch, 2014)

10. **Pena gambar (*rapidograph*)**; Pena gambar digunakan untuk menggambar pada media kertas kalkir. Rapidograph tersedia dalam berbagai ukuran berstandarkan ISO, misalnya rapido 0.25, 0.35, 0.5, dan 0.7.



Gambar 3.9 Rapidograph
(Sumber: ebay.com/akwood, 2021)

11. **Alat-alat gambar lainnya**; Penjepit kertas, penghapus, pelindung penghapus, dan busur derajat untuk menggambar sudut yang lebih bervariasi selain yang tersedia di mistar segitiga.

12. **Komputer**; Dengan perkembangan perangkat komputer saat ini, gambar juga bisa dibuat dengan komputer, selanjutnya dicetak sebagai dokumen gambar teknik. Dengan menggunakan komputer, gambar yang terlihat di layar komputer juga bisa langsung dihubungkan ke mesin produksi, lalu mesin menciptakan benda sesuai desain. Mengubah gambar di komputer dapat dilakukan dengan sangat mudah.

C. Standar Garis, Huruf, dan Angka

1. Jenis dan Ketebalan Garis

Jenis-jenis garis dan penggunaannya tercantum dalam Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Jenis dan Ketebalan Garis

	Jenis Garis dan Ketebalannya	Keterangan	Penggunaannya
A	(0,7)	Tebal kontinu (*visible line*)	• Garis-garis nyata • Garis-garis tepi
B	(0,35)	Tipis kontinu	• Garis-garis berpotongan khayal • Garis-garis ukur • Garis-garis proyeksi/bantu • Garis-garis penunjuk • Garis-garis arsir • Garis-garis nyata dari penampang yang diputar di tempat • Garis sumbu pendek
C	(0,35)	Tipis kontinu bebas	• Garis-garis batas dari potongan sebagian atau bagian yang dipotong bila batasnya bukan garis gores tipis.
D	(0,35)	Tipis kontinu zig-zag	• D1 sama dengan C1, umumnya bila gambar dibuat dengan mesin.

Jenis Garis dan Ketebalannya		Keterangan	Penggunaannya
E	(0,5)	Gores tebal (*hidden line*)	• Garis nyata terhalang • Garis tepi terhalang
F	(0,35)	Gores tipis (*hidden line*)	• Garis nyata terhalang • Garis tepi terhalang
G	(0,35)	Gores bertitik tipis (*center line*)	• Garis sumbu • Garis simetri • Lintasan
H	(0,35 dan 0,7)	Gores bertitik tipis dipertebal pada ujung-ujungnya dan perubahan arah (*cutting plane line*)	• Garis bidang potong
I	(0,7)	Gores bertitik tebal	• Menunjukkan permukaan yang harus mendapatkan penanganan khusus.
J	(0,35)	Gores ganda tipis (*phantom line*)	• Bagian yang berdampingan • Batas-batas kedudukan benda yang bergerak • Garis sistem pada baja profil • Bentuk semula sebelum dibentuk • Bagian benda yang berada di depan bidang potong

(Sumber: Juhana dan Suratman, 2000)

Ketentuan dalam menyambungkan garis, panjang garis, dan posisi garis terhadap garis lain yaitu:

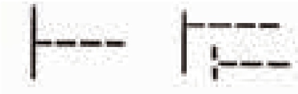
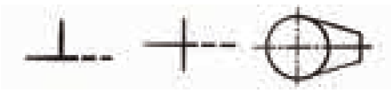
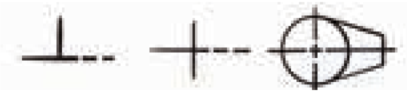
a. Garis gores dan garis gores titik yang berpotongan harus diperlihatkan dengan jelas titik perpotongan atau pertemuannya.

b. Panjang garis gores dan jarak antaranya pada satu gambar harus sama.

c. Jarak antara garis gores atau garis gores titik harus cukup pendek atau tidak terlalu panjang.

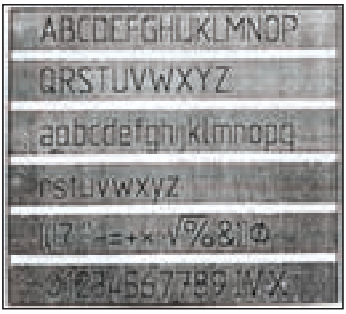
Perhatikan Tabel 3.4 di bawah ini.

Tabel 3.4 Contoh Penyambungan Garis

		Benar ✔
		Salah ✘
		Benar ✔
		Salah ✘
		Benar ✔
		Salah ✘

2. Huruf dan Angka

Huruf dan angka terbagi menjadi dua tipe, yaitu huruf tipe A yang ketebalan garis hurufnya 1/14 dari tinggi huruf dan huruf tipe B yang ketebalan garis hurufnya 1/10 dari tinggi huruf. Gambar 3.5 memperlihatkan huruf tipe A dan tipe B dengan posisi tegak dan miring.



(a) Huruf tipe A posisi tegak



(b) Huruf tipe A posisi miring



(c) Huruf tipe B posisi tegak (d) Huruf tipe B posisi miring

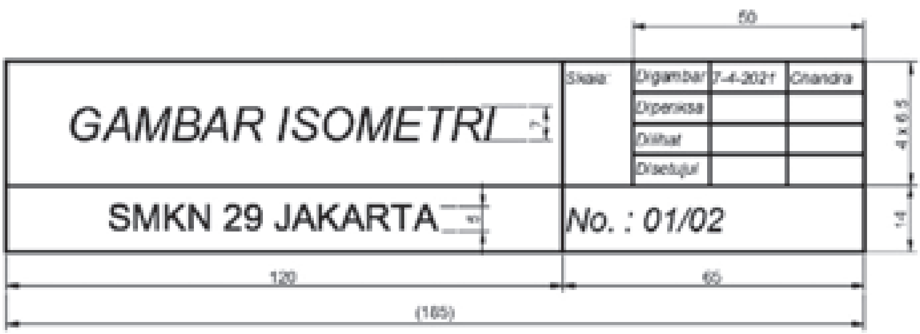
Gambar 3.10 Tipe huruf dan angka
(Sumber: Sato dan Hartanto, 2008)

3. Kepala Gambar

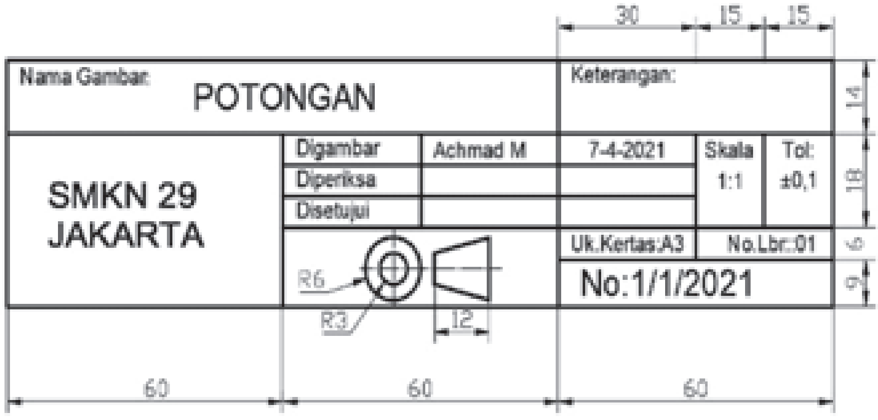
Kepala gambar (*tittle block*/etiket) terletak di sudut kanan bawah gambar, berfungsi sebagai kolom informasi yang memuat keterangan mengenai:

- Nomor gambar
- Judul gambar/nama gambar
- Nama instansi/perusahaan
- Skala gambar
- Tanggal digambar dan disahkan
- Nama yang menggambar, yang memeriksa, yang mengesahkan, dan yang menyetujui
- Keterangan lain yang diperlukan

Berikut ini beberapa contoh kolom nama/kepala gambar yang memuat beberapa hal di atas.



(Sumber: Maruli Tua dan Asep Gunawan, 2022)



(Sumber: Maruli Tua dan Asep Gunawan, 2022)

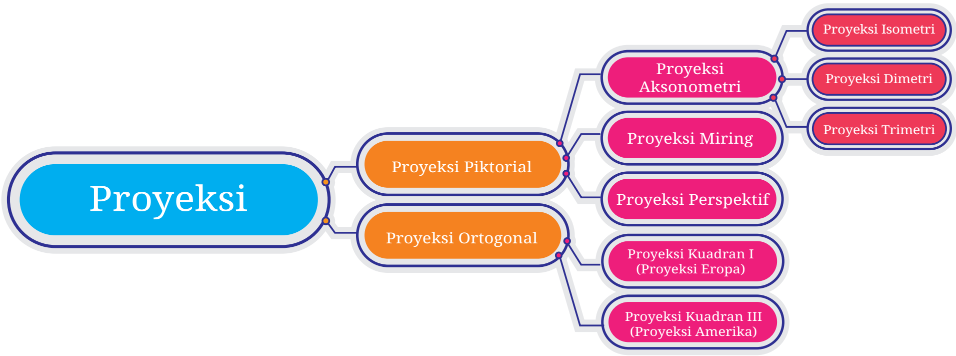


Gambar 3.11 Beberapa contoh kepala gambar
(Sumber: Maruli Tua dan Asep Gunawan, 2022)

D. Proyeksi

1. Pengertian Proyeksi

Proyeksi adalah cara menyatakan atau menggambarkan suatu bentuk dan ukuran objek pada bidang datar. Dalam gambar proyeksi, objek benda dan ukurannya dinyatakan dengan garis-garis pandangan pengamat pada bidang datar/bidang gambar. Penyajian gambar proyeksi ini bisa dikelompokkan menjadi dua cara, yaitu proyeksi piktorial dan proyeksi ortogonal. Macam-macam gambar proyeksi ditunjukkan pada diagram berikut.

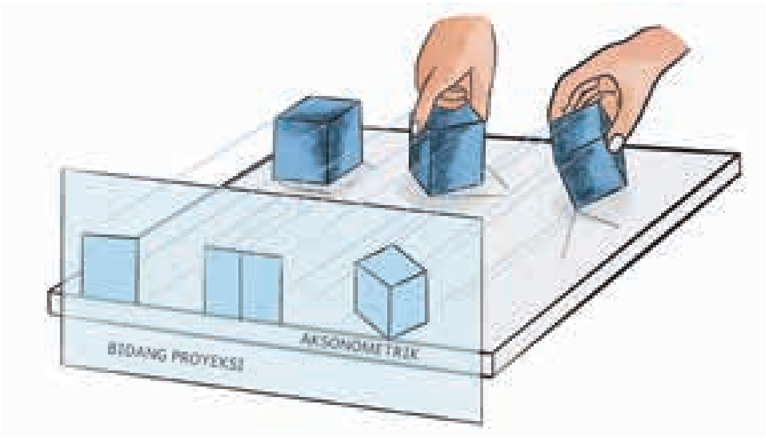


2. Proyeksi Piktorial

Proyeksi piktorial (*pictorial projections*) adalah cara menampilkan gambar benda yang mendekati bentuk dan ukuran aslinya. Gambar piktorial sering digunakan sebagai gambar ilustrasi teknik dalam katalog produk mesin atau teknik lainnya.

a. Proyeksi aksonometri

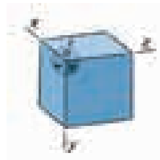
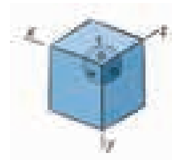
Proyeksi aksonometri (*axonometric projections*) adalah proyeksi yang didapatkan dari memutar dan memiringkan objek gambar lalu digambarkan pada bidang datar.



Gambar 3.12 Proyeksi aksonometri

Teknik proyeksi aksonometrik ini dikenal tiga cara proyeksi, yaitu proyeksi isometri, proyeksi dimetri, dan proyeksi trimetri. Ketiga cara ini dibedakan dari besar sudut antara sumbu-sumbu (x, y, dan z) dan panjangnya garis pada sumbu-sumbu tersebut.

Tabel 3.5 Menggambar Proyeksi Aksonometri

Isometri	Dimetri	Trimetri
		
$\angle a = \angle b = \angle c$ $ox = oy = oz$	$\angle a \neq \angle c$ $oy = oz$	$\angle a \neq \angle b \neq \angle c$ $ox \neq oy \neq oz$

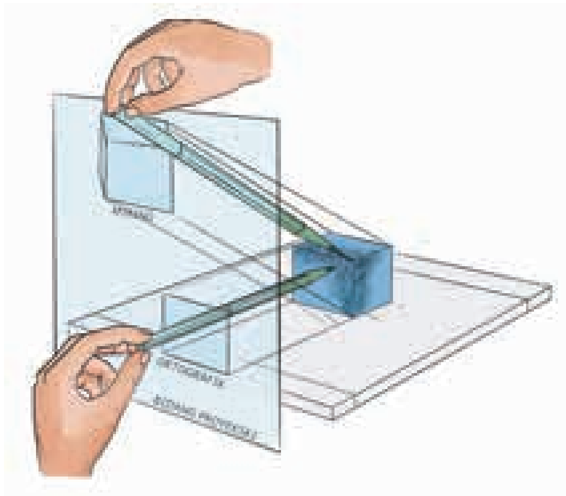
Untuk praktik dalam menggambar dapat digunakan nilai-nilai pendekatan mengenai besar sudut sumbu terhadap horizontal dan skala perpendekan garis sumbu pada proyeksi isometri, dimetri, dan trimetri sebagai berikut.

Tabel 3.6 Harga Sudut-Sudut Proyeksi dan Skala Perpendekan

Cara Proyeksi	Sudut Proyeksi		Skala Perpendekan		
	$(\alpha)^\circ$	$(\beta)^\circ$	Sumbu-*x*	Sumbu-*y*	Sumbu-*z*
Isometri	30	30	1	1	1
Dimetri	35	35	1	$\frac{3}{4}$	1
	15	15	$\frac{3}{4}$	1	$\frac{3}{4}$
	7	42	1	1	$\frac{1}{2}$
Trimetri	20	30	$\frac{7}{8}$	1	$\frac{3}{4}$
	10	20	$\frac{7}{8}$	1	$\frac{2}{3}$

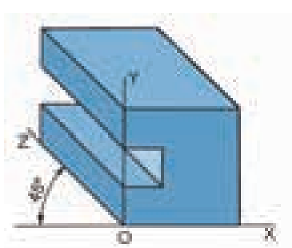
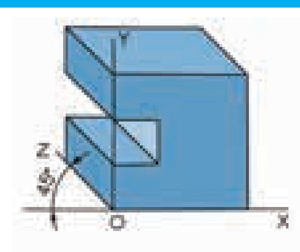
b. Proyeksi miring

Proyeksi miring (*oblique projections*) ini didapatkan jika garis-garis proyeksinya tidak tegak lurus seperti pada proyeksi ortografik, melainkan miring membentuk sudut tertentu terhadap bidang proyeksi (Gambar 3.13).



Gambar 3.13 Proyeksi miring

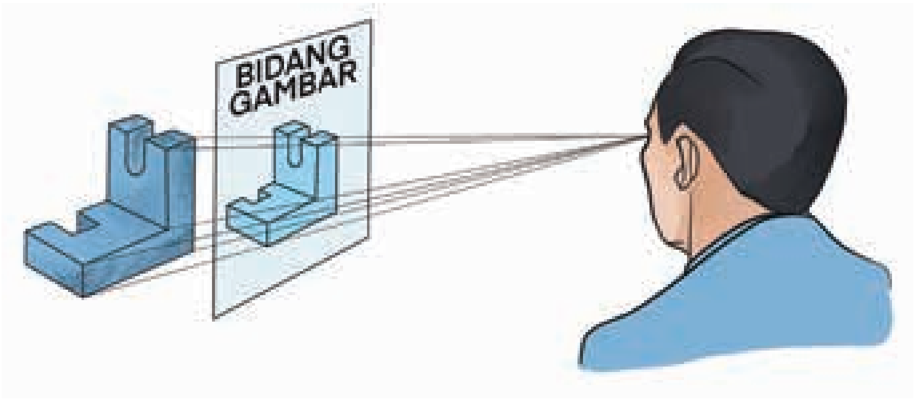
Permukaan depan dari benda diletakkan pada bidang proyeksi sehingga permukaan depan tergambar seperti sebenarnya. Cara proyeksi miring ini terdiri atas cara proyeksi miring *cavalier* dan *cabinet*. Perbedaan dari keduanya bisa dilihat pada gambar berikutnya.

Proyeksi miring *cavalier*	**Proyeksi miring *cabinet***
	
∠α = 45° dan kedalaman pada sumbu-*x* = 1 : 1	∠α = 45° dan kedalaman pada sumbu-*x* = 1 : 2

Gambar 3.14 Proyeksi miring *cavalier* dan *cabinet*

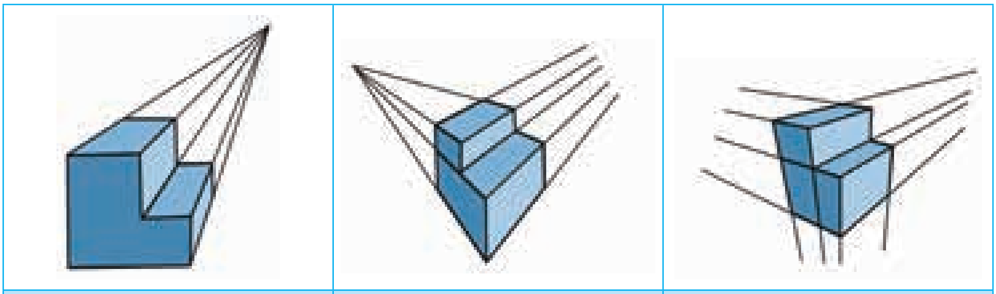
c. Proyeksi perspektif

Penyajian gambar menggunakan proyeksi perspektif (*perspective projection*) diperoleh dengan menarik garis-garis pengamat yang dipusatkan kepada satu titik. Bayangan yang terbentuk pada bidang proyeksi menghasilkan gambar perspektif (Gambar 3.15). Pada gambar ini, benda secara visual terkesan menyerupai benda aslinya tetapi dalam penggambarannya sangat sulit. Oleh sebab itu, cara ini jarang digunakan pada teknik pekerjaan logam termasuk pada teknologi pesawat udara.



Gambar 3.15 Proyeksi perspektif

Proyeksi perspektif tidak cocok untuk gambar kerja karena tampang perspektif tidak mengungkapkan ukuran dan bentuk secara eksak. Dikenal tiga macam penyajian gambar menggunakan proyeksi perspektif, yaitu perspektif satu titik, perspektif dua titik, dan perspektif tiga titik.



(a) Perspektif satu titik	(b) Perspektif dua titik	(c) Perspektif tiga titik

Gambar 3.16 Tiga macam proyeksi perspektif

3. Proyeksi Isometri

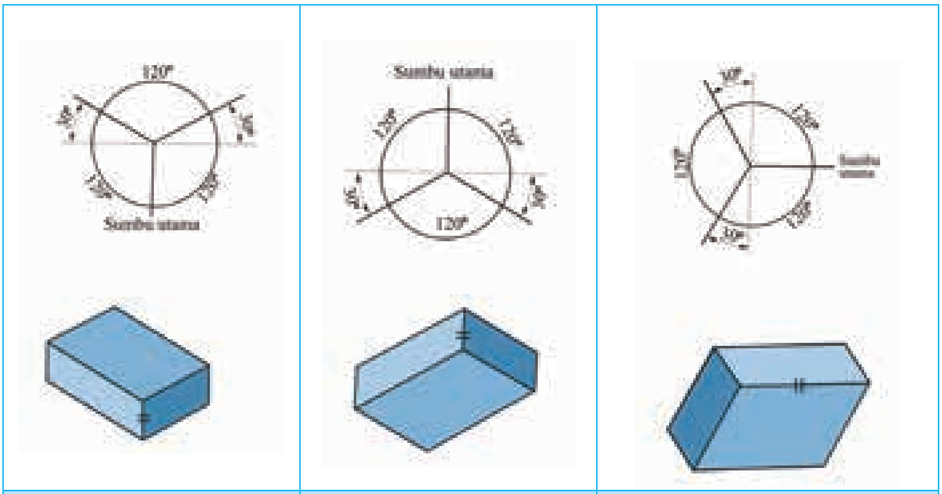
Sebelumnya sudah dibahas tentang proyeksi isometri yang merupakan bagian teknik penyajian benda secara aksonometris. Dari bermacam proyeksi piktorial yang paling banyak digunakan di kalangan teknik pengerjaan logam termasuk pada teknologi pesawat udara adalah proyeksi isometri. Bagaimana cara menggambar isometri?

Untuk menggambar objek menggunakan proyeksi isometri, ikuti langkah-langkah berikut.

a. Tentukan letak sumbu-sumbu isometri (Gambar 3.17), yaitu:

- Sumbu pada kedudukan normal
- Sumbu pada kedudukan terbalik
- Sumbu utama pada posisi horizontal

Pemilihan kedudukan posisi sumbu utama ini bergantung pada tujuan bagian benda mana yang harus terlihat jelas.



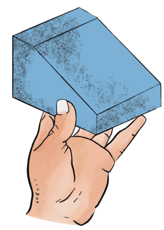
(a) Normal | (b) Terbalik | (c) Horizontal

Gambar 3.17 Kedudukan sumbu-sumbu isometri

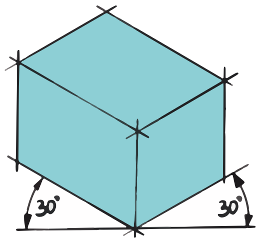
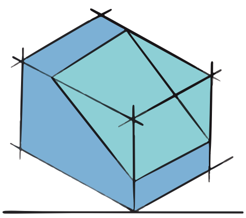
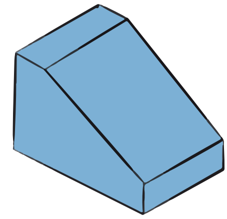
b. Ukurlah bagian-bagian objek benda sesuai dengan ukuran yang sebenarnya pada sumbu-sumbu dan pada bagian yang sejajar dengan sumbu-sumbu isometri. Proyeksi isometri ini banyak digunakan karena sangat sederhana dan mudah dalam penggambarannya. Hal ini dikarenakan tidak perlu ada ukuran-ukuran yang digambarkan lebih pendek atau skala perpendekan.

Penggambaran isometri dari beberapa bentuk benda dalam menyiapkan gambar sketsa adalah sebagai berikut.

- Gambar isometri dari benda yang memiliki bidang miring.

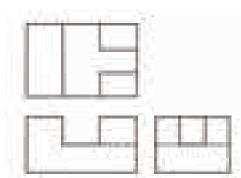


Benda

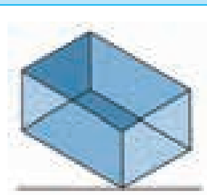
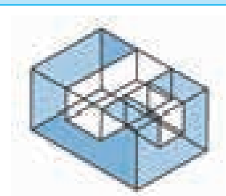
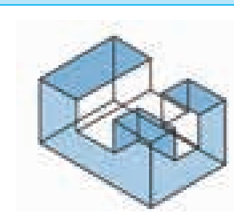
		
Buat posisi sumbu dengan sudut isometri.	Ukurkan bagian-bagian benda sesuai yang sebenarnya.	Hilangkan bagian gambar yang tidak diperlukan.

Gambar 3.18 Menggambar isometri bidang miring

- Gambar isometri dari benda yang memiliki alur.

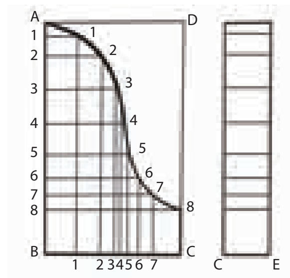


Benda dalam ortogonal

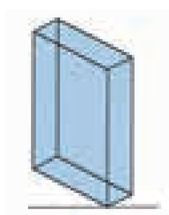
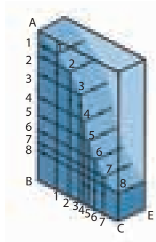
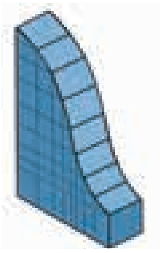
		
Buat posisi sumbu dengan sudut isometri.	Ukur bagian-bagian benda sesuai yang sebenarnya.	Hilangkan bagian gambar yang tidak diperlukan.

Gambar 3.19 Menggambar isometri bidang alur

- Gambar isometri dari benda yang memiliki bidang lengkung.

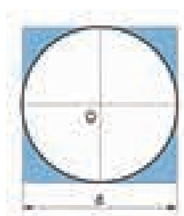
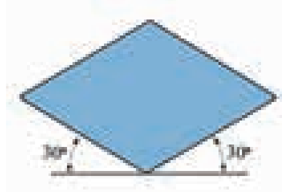
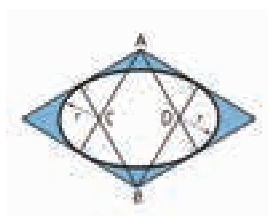


Benda dalam ortogonal

		
Buat posisi sumbu dengan sudut isometri.	Bagilah bagian lengkung A-8 menjadi beberapa bagian yang sama. Tarik garis ke garis BC dan BA, tandai titik-titik potongnya. Hubungkan titik-titik yang membentuk lengkungan	Hilangkan bagian garis yang menghalangi.

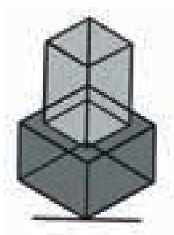
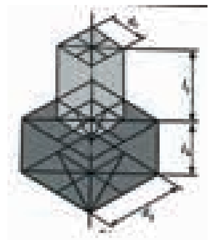
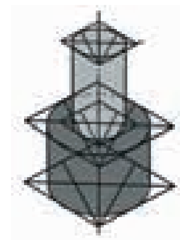
Gambar 3.20 Menggambar isometri bidang lengkung

- Gambar isometri dari sebuah lingkaran.

		
Lingkaran dengan diameter = *d*. Gambarkan segi empat mengelilingi lingkaran.	Buat sumbu isometri. Ukur sisi segi empat = *d*. Buat isometri segi empat.	Tandai titik tengah setiap sisi segi empat dan tarik garis tegak lurus. Buat busur dari empat titik potong.

Gambar 3.21 Menggambar isometri lingkaran

- Gambar isometri benda silinder bertingkat.

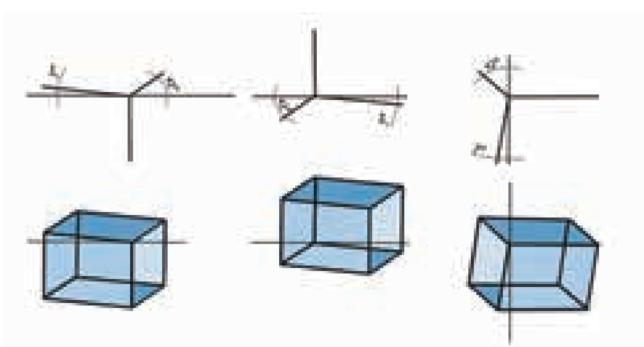
<table>
<tr><td colspan="3">
</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>- Buat posisi sumbu dengan sudut isometri.
- Buat balok dengan ukuran alas d_2 dan tinggi l_2 serta balok alas d_1 dengan tinggi l_1.</td><td>- Buat garis-garis perpotongan tempat busur lingkaran isometri.</td><td>- Buat lukisan elips pada permukaan atas dan bawah balok.
- Hubungkan elips dari permukaan atas dan bawah.</td></tr>
</table>

Gambar 3.22 Menggambar isometri silinder bertingkat

4. Proyeksi Dimetri

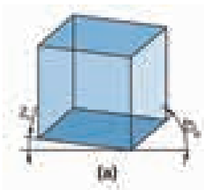
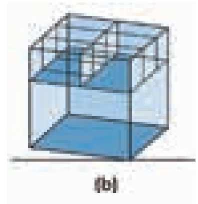
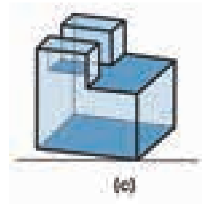
Pada gambar isometri dikarenakan besar sudut sumbu *x* dan sumbu *y* terhadap garis horizontal besarnya sama maka sering dijumpai garis-garis berimpitan. Hal ini tidak terjadi jika dua sudut tersebut besarnya tidak sama seperti pada proyeksi dimetri (*dimetric projection*).

Gambar 3.23 menunjukkan posisi kubus jika digambarkan secara proyeksi dimetri yang kedudukannya dapat dipilih sesuai kebutuhan.



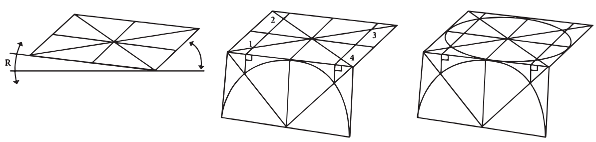
Gambar 3.23 Macam-macam kedudukan proyeksi dimetri

Beberapa langkah dalam menggambar dimetri dapat diikuti seperti gambar berikut.

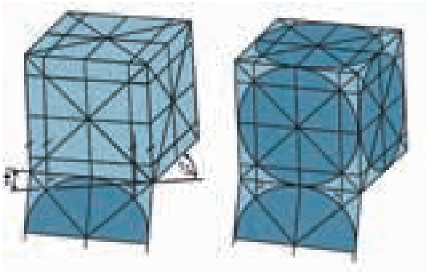
		
(a) Buat kubus dengan posisi sumbu sesuai kebutuhan, yaitu sudut α = 7° dan β = 42° dengan panjang pada sumbu x = 1, sumbu y = 1, dan sumbu $z = \frac{1}{2}$.	(b) Ukurlah semua bagian-bagian benda yang tampak maupun tidak tampak.	(c) Hapus garis-garis yang tidak dibutuhkan dan atur ketebalan dan jenis garis.

Gambar 3.24 Cara menggambar dimetri

Untuk menggambar benda bulat seperti silinder dan lubang, buat bentuk lingkaran melalui bantuan bidang yang dibuat pada bidang lain yang tegak lurus pada sumbu, di mana lingkaran berada pada bidang atas. Gambar 3.25 menjelaskan langkah membuat lingkaran dimetri pada bidang atas. Sementara Gambar 3.26 menjelaskan lingkaran dimetri pada tiga bidang.



Gambar 3.25 Menggambar lingkaran dimetri pada bidang atas



Gambar 3.26 Menggambar lingkaran dimetri pada tiga bidang

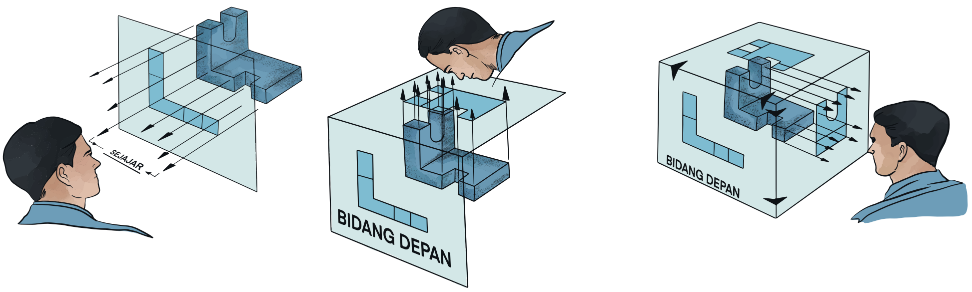
5. Proyeksi Ortogonal

a. Pengertian

Gambar proyeksi ortogonal atau ortografik diperoleh apabila pengamat mengambil jarak yang cukup dan lurus dari bidang gambar sampai berada

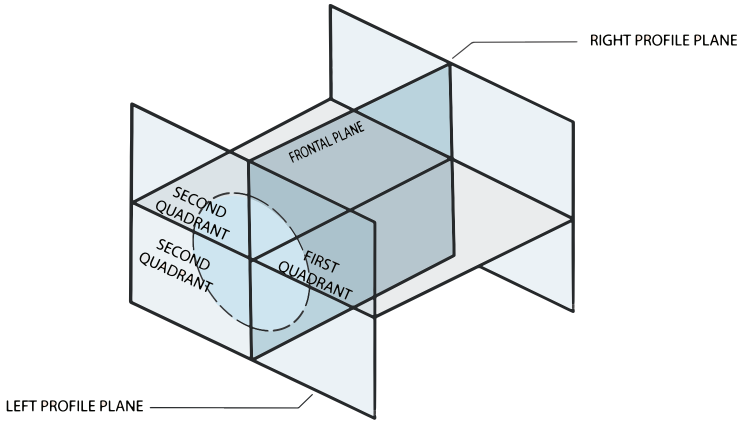
dalam jarak tak terbatas dari bidang gambar tersebut. Garis proyeksi (proyektor) dari mata ke objek menjadi sejajar satu sama lain dan tegak lurus pada bidang gambar (Gambar 3.27).

Karena garis proyeksi sejajar maka hasil proyeksi akan berbentuk dan berukuran sama seperti permukaan muka objek. Namun, tampang yang diperoleh tidak mengungkapkan tebal objek, sehingga diperlukan satu atau lebih proyeksi tambahan (proyeksi jamak) untuk melengkapi kejelasan objek. Dua proyeksi biasanya cukup untuk menguraikan objek sederhana, sedangkan tiga atau empat proyeksi diperlukan untuk objek yang rumit.



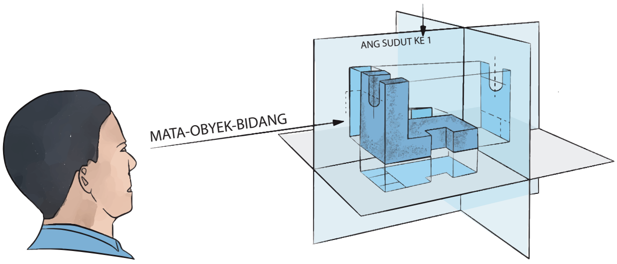
Gambar 3.27 Proyeksi ortogonal

Ada dua metode proyeksi jamak, yaitu proyeksi sudut pertama dan proyeksi sudut ketiga. Disebut proyeksi sudut pertama atau sering disebut juga dengan proyeksi Eropa, karena objek ditempatkan pada ruang kuadran pertama (*first quadrant*). Sedangkan proyeksi sudut ketiga atau sering disebut proyeksi Amerika, objek ditempatkan pada ruang kuadran ketiga (*third quadrant*).



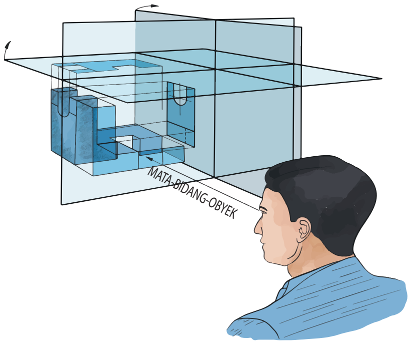
Gambar 3.28 Bidang-bidang proyeksi kuadran pertama dan kuadran ketiga

Pada proyeksi sudut pertama, objek diletakkan di antara pengamat dan bidang proyeksi sehingga gambar proyeksi pandangan depan yang diperoleh terletak pada bidang di belakang objek, pandangan atas terletak pada bidang mendatar (bawah objek), dan pandangan samping terletak pada bidang profil (Gambar 3.29).



Gambar 3.29 Proyeksi sudut pertama

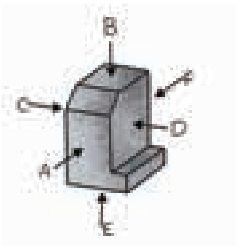
Pada proyeksi sudut ketiga, bidang proyeksi terletak di antara objek dan pengamat sehingga gambar pandangan depan terletak pada bidang depan, pandangan atas terletak pada bidang mendatar, dan pandangan samping terletak pada bidang profil (Gambar 3.30).



Gambar 3.30 Proyeksi sudut ketiga

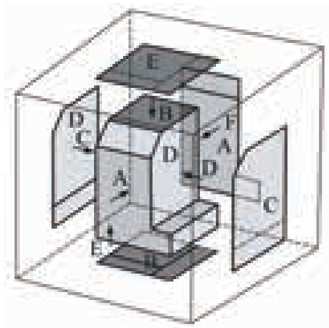
b. Proyeksi sudut pertama

Proyeksi sudut pertama (*first angle projection*) diperoleh dari pengamatan suatu benda yang dilakukan dari beberapa arah penglihatan (Gambar 3.31).



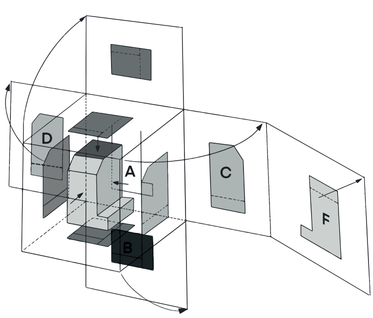
Gambar 3.31 Proyeksi majemuk untuk proyeksi sudut pertama

Dari penglihatan arah A diperoleh proyeksi pada bidang belakang, dari penglihatan arah B diperoleh proyeksi pada bidang bawah, dari penglihatan arah C diperoleh proyeksi pada bidang kanan, dari penglihatan arah D diperoleh proyeksi pada bidang kiri, dari penglihatan arah E diperoleh proyeksi padang bidang atas, dan dari penglihatan arah F diperoleh proyeksi pada bidang depan. Perhatikan gambar berikut.



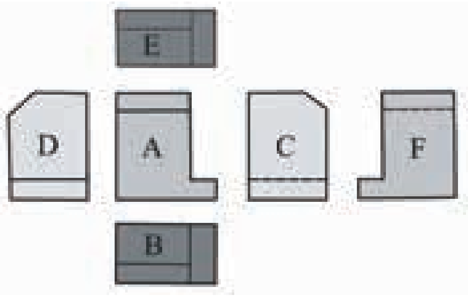
Gambar 3.32 Proyeksi majemuk untuk proyeksi sudut pertama pada semua bidang

Selanjutnya, jika hasil proyeksi pada bidang-bidang proyeksi tadi dibentangkan sehingga membentuk bidang datar mengikuti proyeksi pandangan depan (A) sebagai patokan berturut-turut pandangan atas (B) ke bawah, pandangan kiri (C) di sebelah kanan, pandangan kanan (D) terletak di kiri, pandangan bawah (E) terletak di atas, dan pandangan belakang (F) diletakkan di sebelah pandangan kiri maka akan diperoleh gambar proyeksi sudut pertama. Cara ini disebut juga proyeksi Eropa karena banyak digunakan oleh negara-negara Eropa.



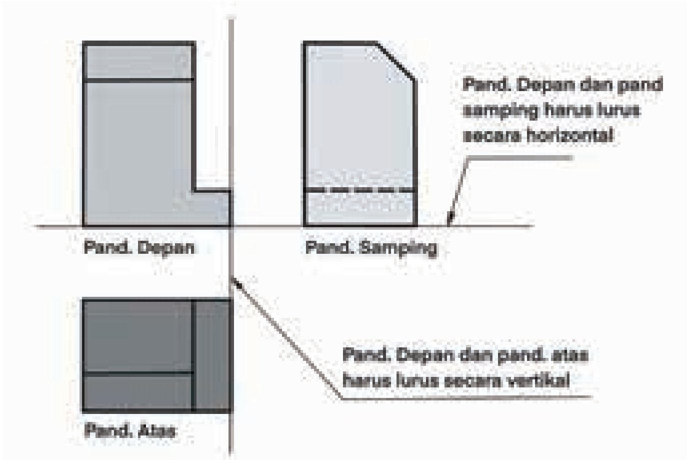
Gambar 3.33 Hasil proyeksi sudut pertama pada semua bidang

Selanjutnya, gambar proyeksi di setiap bidang digambarkan pada bidang datar tidak digambarkan garis-garis proyeksi dan batas bidang-bidang proyeksi (Gambar 3.34).



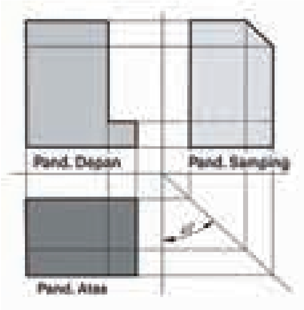
Gambar 3.34 Proyeksi sudut pertama pada semua bidang.

Untuk kebutuhan gambar kerja, tidak semua pandangan ini digunakan, tetapi dipilih yang paling bisa menjelaskan bentuk dan ukuran benda. Pemilihan jumlah pandangan bergantung pada tingkat kerumitan dari benda kerja. Tiga pandangan utama yang sering digunakan dalam menampilkan proyeksi suatu benda, yaitu pandangan depan, atas, dan samping. Kedudukan pandangan depan dengan samping harus diluruskan secara horizontal, begitu juga pandangan depan dengan pandangan atas harus diluruskan secara vertikal (Gambar 3.35).



Gambar 3.35 Posisi gambar pandangan

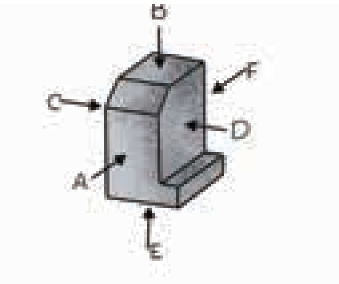
Untuk mendapatkan kedudukan pandangan depan dengan pandangan samping lurus secara horizontal, demikian juga pandangan depan dengan pandangan atas lurus secara vertikal dalam proses pembuatan gambar, biasanya diperlukan garis-garis proyeksi yang ditarik dari pandangan depan ke pandangan atas, dari pandangan depan ke pandangan samping, dan dari pandangan atas ke pandangan samping (Gambar 3.36). Garis-garis proyeksi ini dihilangkan setelah didapatkan gambar proyeksi.



Gambar 3.36 Cara mendapatkan tiga pandangan utama proyeksi sudut pertama.

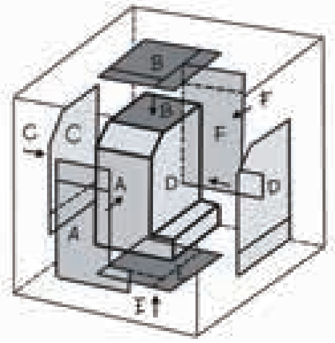
c. Proyeksi Sudut Ketiga

Proyeksi sudut ketiga (*third angle projection*) diperoleh dari pengamatan suatu benda dari beberapa arah penglihatan, seperti ditunjukkan pada gambar berikut.



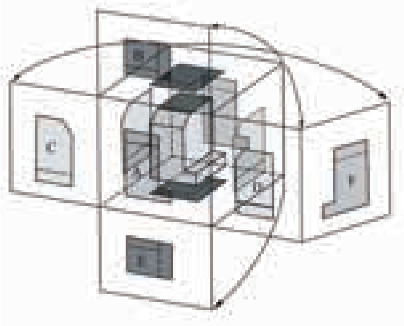
Gambar 3.37 Proyeksi majemuk untuk proyeksi sudut ketiga.

Hasil dari penglihatan arah A diperoleh proyeksi pada bidang depan, dari penglihatan arah B diperoleh proyeksi pada bidang atas, dari penglihatan arah C diperoleh proyeksi pada bidang kiri, dari penglihatan arah D diperoleh proyeksi pada bidang kanan, dari penglihatan arah E diperoleh proyeksi pada bidang bawah, dan dari penglihatan arah F diperoleh proyeksi pada bidang belakang. Perhatikan gambar berikut.



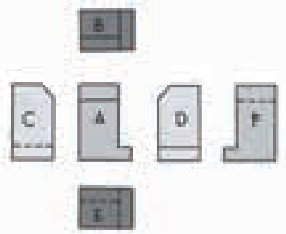
Gambar 3.38 Proyeksi majemuk untuk proyeksi sudut ketiga pada semua bidang.

Seperti pada proyeksi sudut pertama, jika hasil proyeksi pada bidang-bidang proyeksi tadi dibentangkan sehingga membentuk bidang datar mengikuti kedudukan proyeksi pandangan depan (A) sebagai patokan berturut-turut pandangan atas (B) ke atas, pandangan kiri (C) di sebelah kiri, pandangan kanan (D) terletak di kanan, pandangan bawah (E) terletak di bawah, dan pandangan belakang (F) diletakkan di sebelah pandangan kanan, maka akan diperoleh gambar proyeksi sudut ketiga (Gambar 3.39). Cara ini disebut juga proyeksi Amerika karena banyak digunakan oleh negara Amerika, Kanada, Jepang, dan sebagainya.



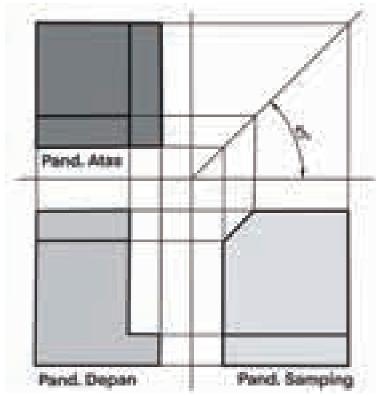
Gambar 3.39 Hasil proyeksi sudut ketiga dari semua bidang.

Selanjutnya, gambar proyeksi di setiap bidang digambarkan pada bidang datar, tidak digambarkan garis-garis proyeksi dan batas bidang-bidang proyeksi (Gambar 3.40).



Gambar 3.40 Proyeksi sudut ketiga pada semua bidang.

Dengan cara yang sama pada proyeksi sudut pertama, tiga pandangan utama yang sering digunakan dalam menampilkan gambar proyeksi suatu benda yaitu pandangan depan, atas, dan samping. Untuk mendapatkan kedudukan pandangan depan dengan pandangan samping lurus secara horizontal, demikian juga pandangan depan dengan pandangan atas lurus secara vertikal dalam proses pembuatan gambar, biasanya diperlukan garis-garis proyeksi yang ditarik dari pandangan depan ke pandangan atas, dari pandangan depan ke pandangan samping, dan dari pandangan atas ke pandangan samping (Gambar 3.41). Garis-garis proyeksi ini dihilangkan setelah didapatkan gambar proyeksi.

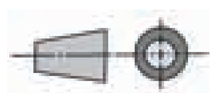
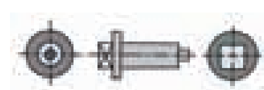
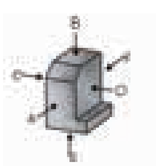
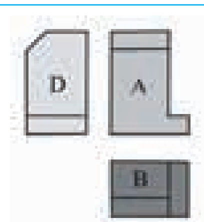
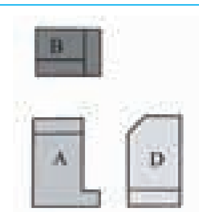
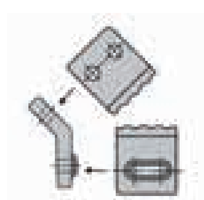
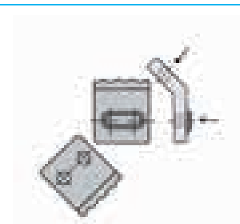


Gambar 3.41 Cara mendapatkan tiga pandangan utama proyeksi sudut ketiga.

d. Perbandingan Proyeksi Sudut Pertama dengan Proyeksi Sudut Ketiga

Tabel 3.7 memperlihatkan perbandingan simbol dan posisi pandangan dari proyeksi sudut pertama dengan proyeksi sudut ketiga.

Tabel 3.7 Perbandingan proyeksi sudut pertama dengan proyeksi sudut ketiga

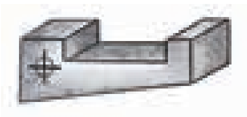
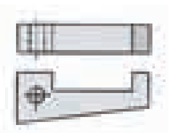
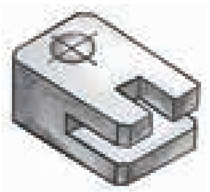
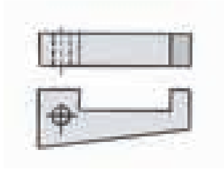
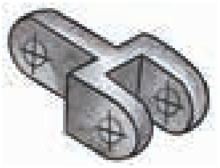
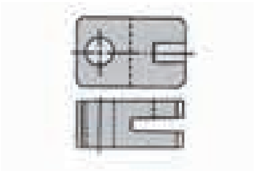
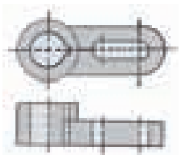
Sifat	Proyeksi Sudut Pertama	Proyeksi Sudut Ketiga
Simbol Proyeksi		
		
		
		

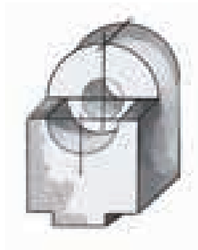
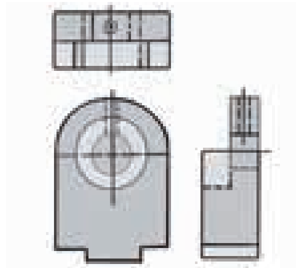
e. Penentuan Pandangan

Penentuan pandangan dimulai dengan menetapkan pandangan depan, kemudian ditambahkan pandangan-pandangan lain seperti pandangan atas, samping, dan sebagainya. Pandangan depan dipilih karena yang paling mewakili bentuk dan fungsi secara umum dari suatu benda.

Garis bentuk suatu benda hendaknya ditelaah dengan teliti sebelum memilih tampang, karena kalau tidak, tidak ada jaminan benda itu akan bisa dijelaskan dengan lengkap dan jelas. Pandangan yang lain ditambahkan seperlunya agar benda bisa dipahami sejelas mungkin. Tabel 3.8 memuat beberapa contoh pemilihan pandangan dan jumlah pandangan.

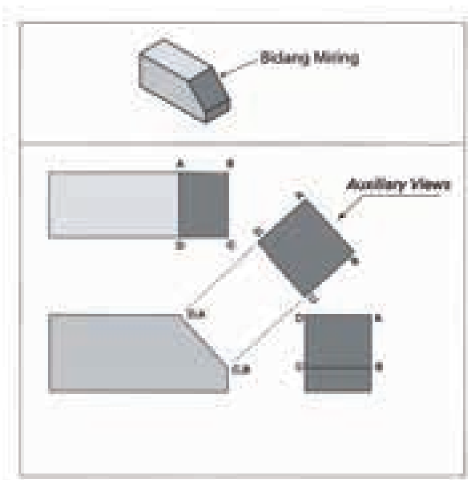
Tabel 3.8 Contoh pemilihan pandangan depan dan jumlah pandangan

Benda	Gambar Pandangan
	
	
	
	
	

Benda	Gambar Pandangan
	

f. Pandangan Tambahan

Jika dari tiga pandangan (depan, atas, dan samping) terdapat permukaan yang tidak bisa ditunjukkan bentuk dan ukuran sebenarnya maka diperlukan pandangan tambahan (*auxiliary views*). Misalnya, bentuk dan ukuran bidang miring pada Gambar 3.42. Pandangan ini sifatnya hanya membantu, jika tidak diperlukan maka tidak harus digambarkan.

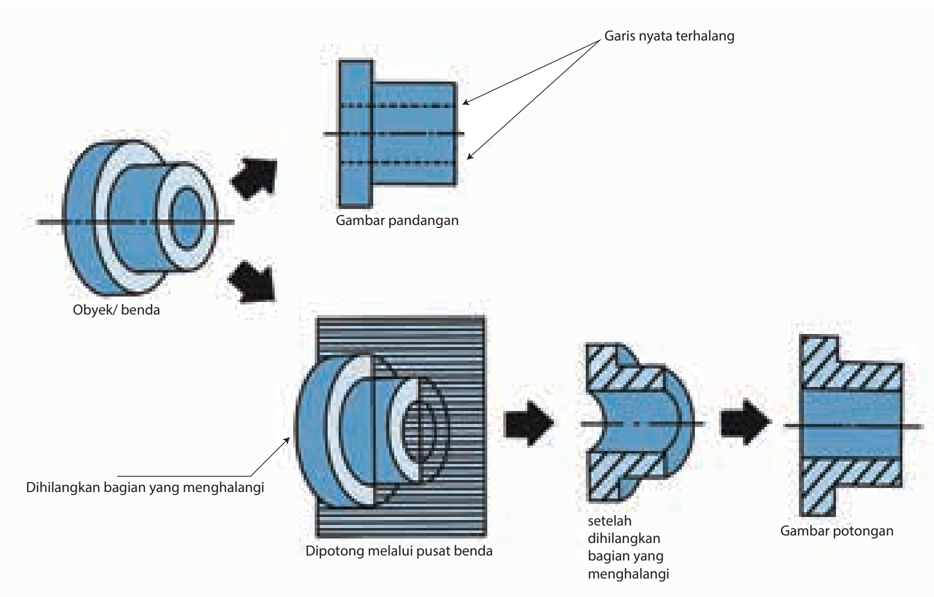


Gambar 3.42 Pandangan tambahan (*auxiliary views*)

E. Gambar Potongan

Penyajian benda berongga dalam gambar pandangan bagian benda yang terhalang dinyatakan dengan garis strip. Bila gambar tersebut dari benda sederhana maka garis bagian yang terhalang itu tidak membingungkan. Namun, bila gambar tersebut rumit di mana bagian benda yang tidak tampak semakin banyak, tentu akan menyulitkan bagi pembaca gambar sehingga dapat menimbulkan salah pengertian. Untuk mencegah hal tersebut maka dalam gambar teknik diadakan suatu teknik pemotongan. Teknik gambar

potongan atau irisan ini pada prinsipnya melakukan pemotongan benda lalu membuang sebagian benda yang menutupi sehingga bagian yang terhalang menjadi tampak, kemudian dibuat gambar pandangan atau proyeksinya berupa gambar potongan atau penampang potongan.



Gambar 3.43 Prinsip gambar potongan

Maksud dari pemotongan ini adalah untuk mempermudah memahami gambar yang agak sulit, terutama untuk melihat bentuk pada bagian dalam tersebut. Ada kalanya juru gambar harus memberikan potongan lebih dari satu tempat apabila dengan memotong satu kali masih belum jelas, terutama pada benda-benda yang panjang dan agak rumit. Dengan potongan berganda ini akan memperjelas penunjukan objek agar bisa dilihat dengan jelas bagian dalam dan luarnya.

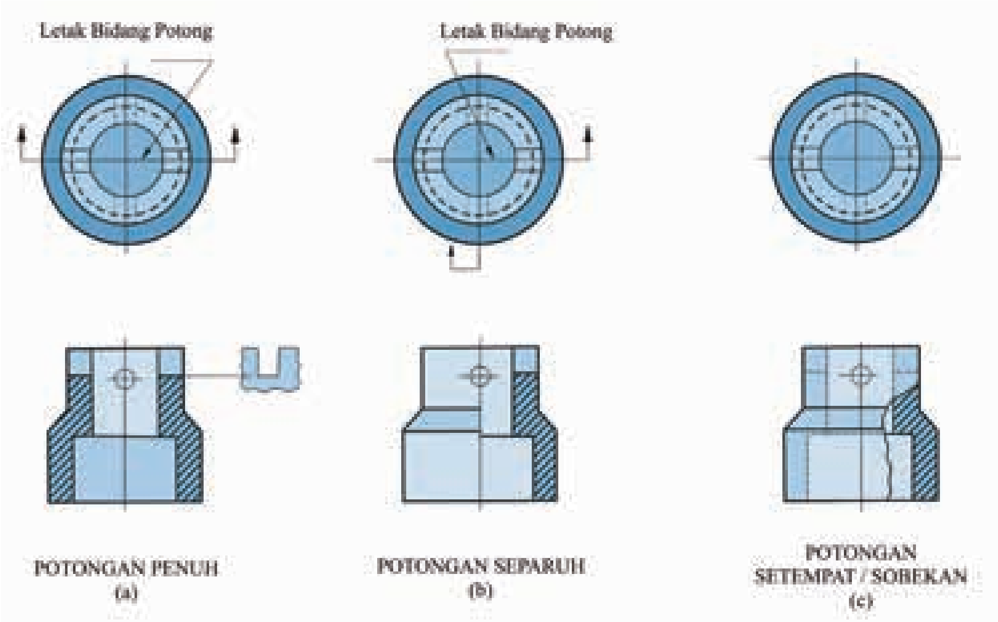
1. Macam-Macam Cara Pemotongan

a. **Potongan penuh**, dihasilkan oleh bidang potong yang memotong penampang sepenuhnya melalui objek. Tampang yang dihasilkan akan tampak seperti Gambar 3.44(a).

b. **Potongan separuh**, dihasilkan dengan cara menghilangkan seperempat bagian objek. Bidang potong memotong separuh bagian tembus sampai sumbu atau garis sumbu, sehingga separuh penampang menjadi tampak bagian dalamnya dan separuh lagi tampak sebagai tampang

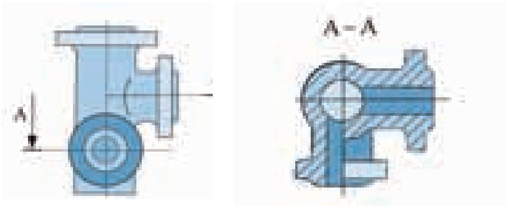
luar (Gambar 3.44(b)). Tipe potongan atau penampang ini dipakai untuk memperlihatkan konstruksi luar dan dalam sekaligus dalam suatu objek simetris. Garis-garis bagian objek yang terhalang pada separuh gambar tidak perlu digambarkan, kecuali jika diperlukan untuk pengukuran dan konstruksi.

c. **Potongan sobekan**, penampang sebagian, atau penampang pecah terutama dipakai untuk menampakkan bagian dalam objek yang dikonstruksi sedemikian rupa sehingga diperlukan kurang dari setengah bagian (Gambar 3.44(c)). Gambar ini diperoleh dengan memotong objek oleh bidang potong pada garis sumbu, dan bagian muka dihilangkan dengan menyobek atau memecahkannya sehingga menghasilkan garis batas tak teratur pada penampang.



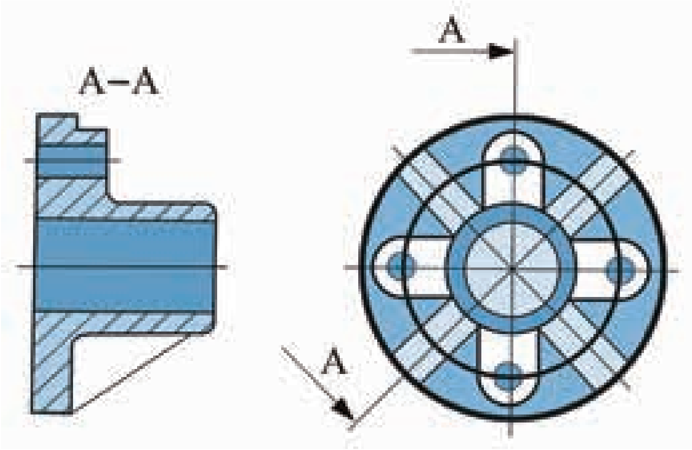
Gambar 3.44 Macam-macam teknik potongan

d. **Potongan meloncat**, diperoleh dengan dua atau lebih bidang potong yang sejajar, tetapi penggambarannya disatukan dalam satu gambar. Hal ini dimaksudkan untuk penyederhanaan gambar dan penghematan waktu.



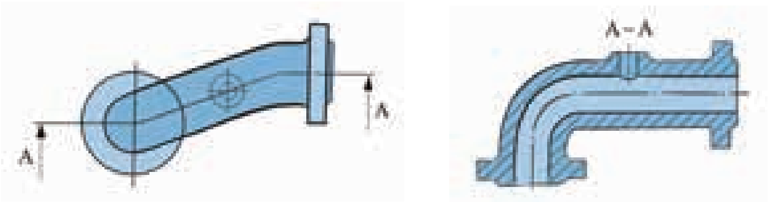
Gambar 3.45 Potongan meloncat

e. **Potongan dua bidang berpotongan**, bisa diterapkan pada benda simetris, di mana satu bidang potong sebagai bidang potong utama dan bidang potong lain menyudut ditempatkan pada bagian yang perlu. Selanjutnya digambarkan proyeksi satu bidang dengan proyeksi dari bidang potong yang pertama.



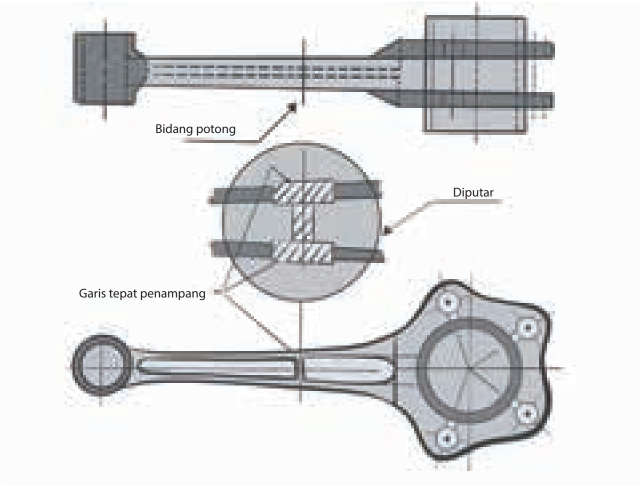
Gambar 3.46 Potongan dengan dua bidang menyudut

f. **Potongan dengan bidang-bidang berdampingan**, diperoleh dengan menempatkan beberapa bidang potong mengikuti sumbu benda, selanjutnya proyeksi yang merupakan hasil pemotongan di beberapa bidang digambarkan dalam satu bidang (Gambar 3.47).



Gambar 3.47 Potongan dengan dua bidang berdampingan menyudut

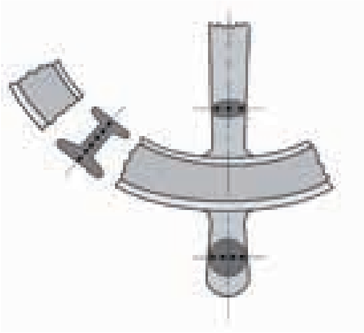
g. **Potongan diputar**, diperoleh dengan menempatkan bidang potong pada bagian yang perlu ditunjukkan penampangnya kemudian diputar dan digambarkan penampangnya pada tempat yang sama atau pada tempat lain .



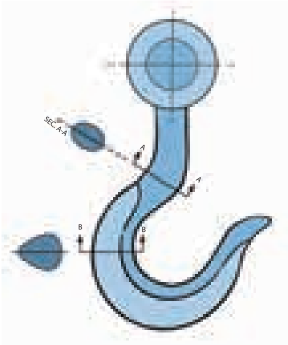
Gambar 3.48 Potongan diputar

Potongan diputar banyak digunakan untuk komponen-komponen seperti ruji-ruji roda, batang tuas pemutar, pelek, rusuk penguat, dan pengait.

Penggambaran penampang dipotong di tempat garis batas penampang dibuat dengan garis tipis (Gambar 3.49(a)), sedangkan penggambaran penampang yang dipindahkan dari garis batas penampang dibuat dengan garis tebal (Gambar 3.49(b)).



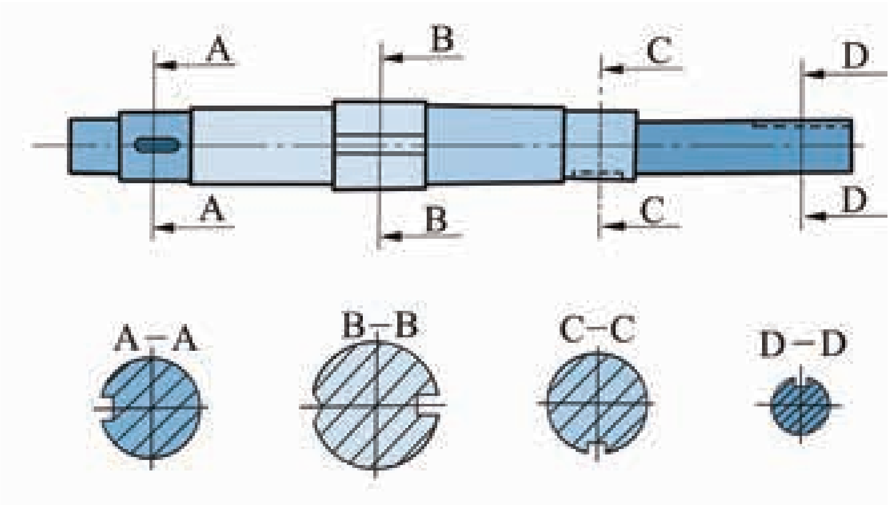
(a)



(b)

Gambar 3.49 (a) Penampang dipotong-diputar di tempat; (b) Penampang dipotong-diputar dipindahkan

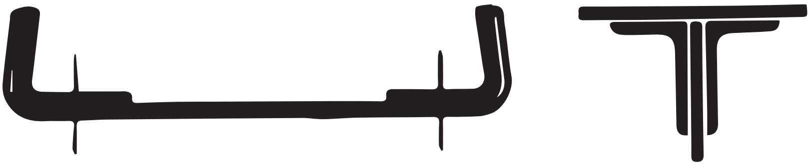
h. **Potongan berurutan,** diperoleh dengan memotong pada beberapa tempat yang diperlukan, biasanya digambarkan secara berurutan segaris dengan sumbu utama. Untuk memudahkan dalam pembacaan, gambar potongan atau penampang bisa ditempatkan di bawah masing-masing garis potongnya.



Gambar 3.50 Potongan berurutan

2. Penampang Benda-Benda Tipis

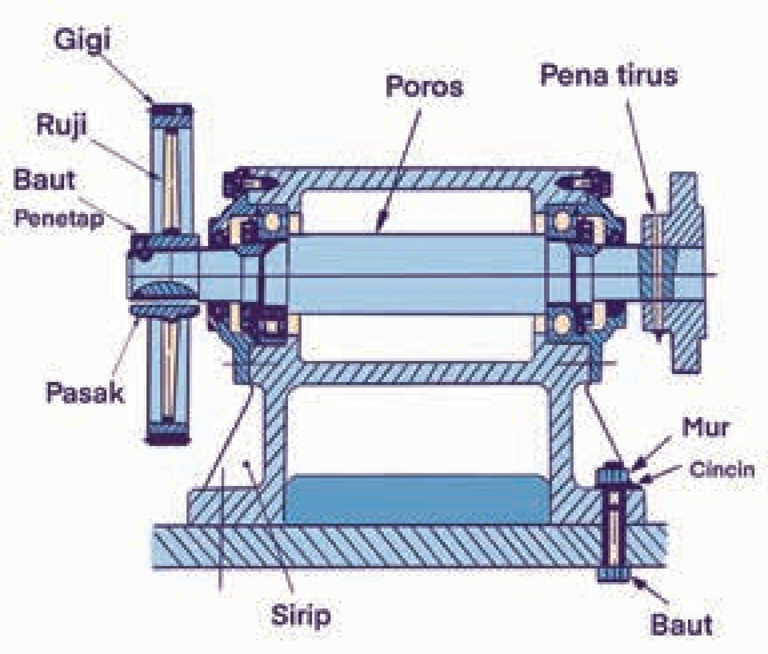
Penampang potong dari benda-benda tipis, seperti benda yang terbuat dari pelat, baja profil, dan paking dapat digambar dengan garis tebal atau seluruh bidang potongnya dihitamkan.



Gambar 3.51 Penampang potong benda-benda tipis

3. Benda atau Bagian Benda yang Tidak Boleh Dipotong

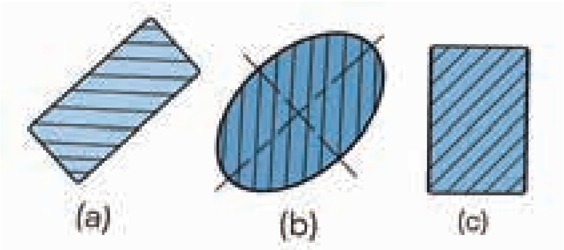
Ada benda-benda yang kalau dilakukan pemotongan arah tertentu justru menjadi tidak jelas. Benda-benda yang tidak boleh dipotong arah memanjang antara lain poros, pena tirus, baut, sirip, pasak, ruji, dan bola baja.



Gambar 3.52 Benda-benda yang tidak boleh dipotong

4. Arsiran Permukaan Hasil Pemotongan

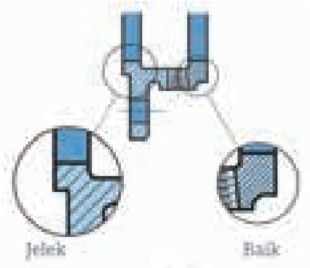
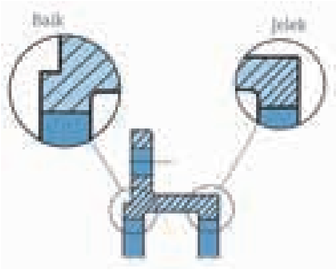
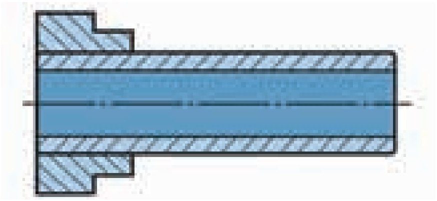
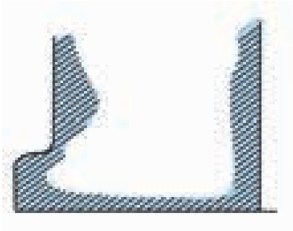
Arsiran ialah garis-garis kontinu tipis yang ditarik pada proyeksi permukaan hasil pemotongan suatu objek dengan maksud untuk menonjolkan kontur bagian dalamnya. Biasanya garis arsir ditarik dengan sudut 45° terhadap garis sumbu atau garis gambar, kecuali pada sejumlah bagian yang berdekatan dengan gambar rakitan.

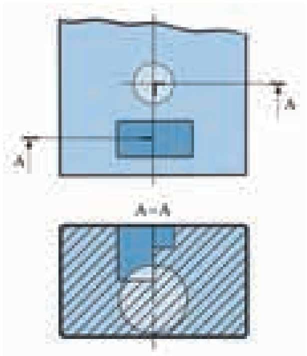
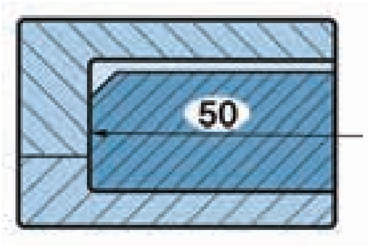
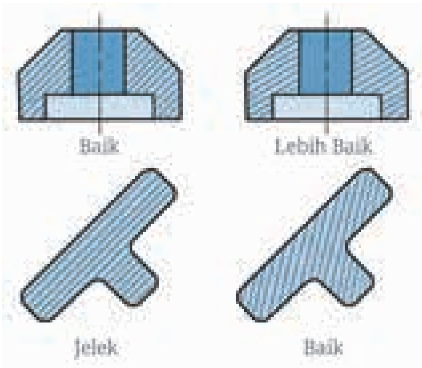


Gambar 3.53 Garis arsiran

Tabel berikut memuat beberapa ketentuan dalam mengarsir.

Tabel 3.9 Cara memberi arsiran permukaan yang dipotong

Arsiran pada Penampang	Keterangan
	Jarak garis arsiran disesuaikan dengan besarnya gambar.
	Jarak garis-garis arsir harus sama, tidak berubah-ubah.
	Arsiran dari bagian-bagian yang berdampingan harus dibedakan sudutnya agar jelas.
	Penampang-penampang yang luas dapat diarsir secara terbatas, yaitu hanya bagian kelilingnya.

Arsiran pada Penampang	Keterangan
	Permukaan yang sejajar hasil dari pemotongan meloncat dapat diarsir serupa, tetapi digeser.
	Jika angka ukuran tidak bisa ditempatkan di luar arsiran dan terpaksa ada di dalam arsiran maka untuk penempatan angka tersebut arsiran dapat dihilangkan.
	Pada permukaan yang memiliki bidang miring 45°, kemiringan garis arsir bisa disesuaikan agar hasilnya lebih baik.

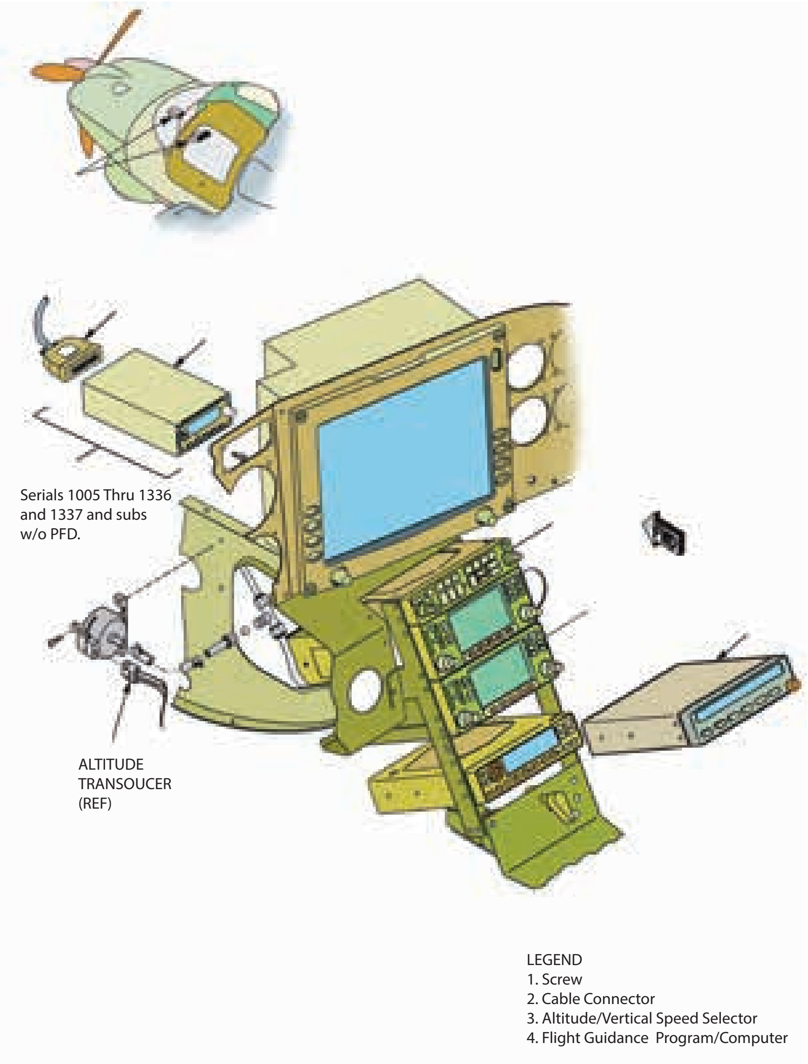
F. Diagram dan Simbol

Seperti telah disinggung bahwa diagram didefinisikan sebagai representasi grafik dari suatu rakitan atau sistem yang menunjukkan berbagai bagian dan mengungkapkan metode atau prinsip operasi atau proses kerjanya. Terdapat empat kelas atau tipe diagram, yaitu diagram instalasi, diagram skema, diagram blok, dan diagram pengkabelan.

1. Diagram Instalasi

Gambar 3.54 adalah contoh diagram instalasi (*installation diagrams*) panduan pemasangan komponen kontrol penerbangan yang menunjukkan lokasi dari masing-masing komponen.

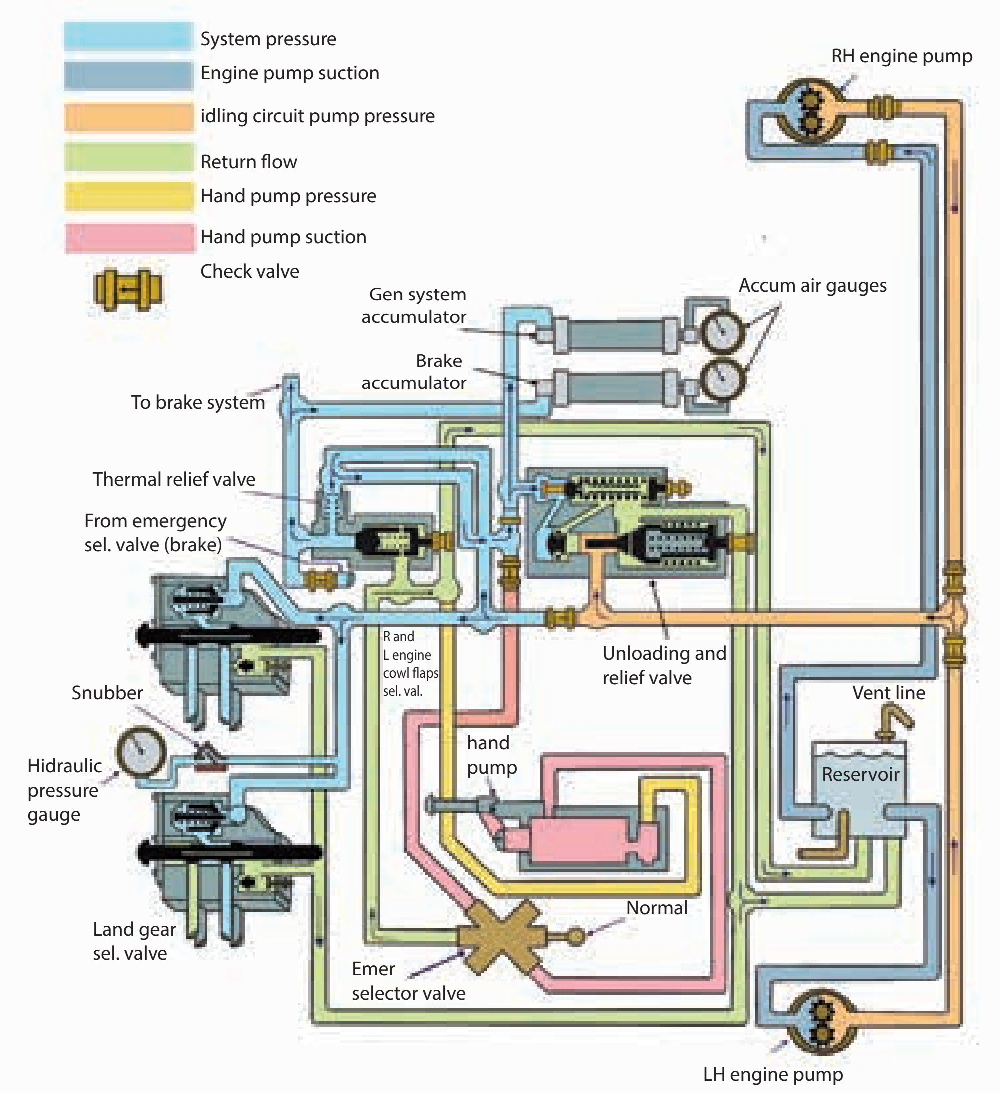
Setiap nomor (1, 2, 3, dan 4) menunjukkan lokasi pemasangan pada kokpit pesawat terbang. Diagram instalasi seperti ini digunakan dalam manual perawatan dan perbaikan pesawat yang sangat penting dalam mengidentifikasi dan menemukan komponen dan sistem pengoperasiannya.



Gambar 3.54 Contoh diagram instalasi

2. Diagram Skema

Diagram skema (*schematic diagrams*) tidak menunjukkan lokasi komponen individu di pesawat, melainkan komponen yang terkait satu sama lain di dalam sistem. Gambar 3.55 mengilustrasikan diagram skema dari sistem hidrolik pesawat udara.

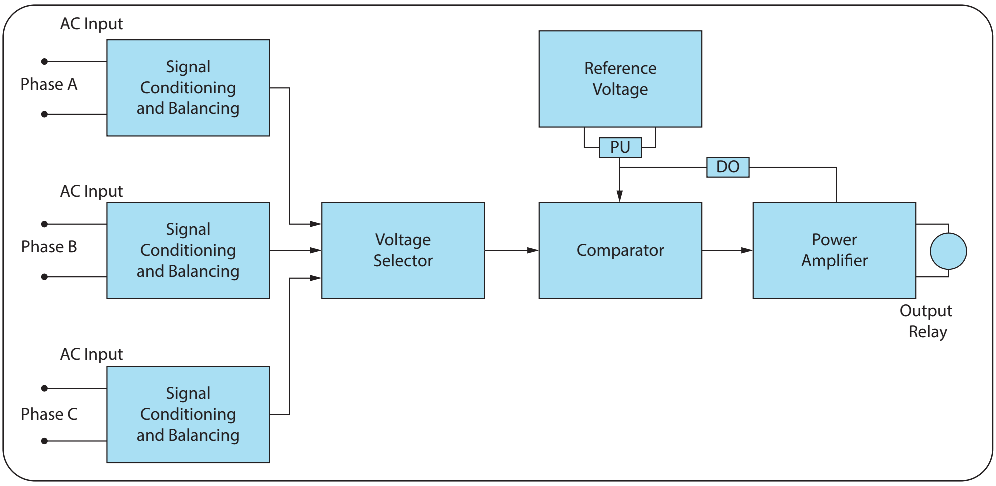


Gambar 3.55 Contoh diagram skema (*schematic diagrams*)

Pengukur tekanan hidrolik (*pressure gauge*) tidak harus berada di atas *selector valve* roda pendarat pesawat, melainkan terhubung ke garis tekanan yang mengarah ke *selector valve*. Diagram skematik jenis ini digunakan terutama dalam pemecahan masalah. Perhatikan bahwa setiap baris diberi kode untuk kemudahan membaca dan menelusuri aliran. Setiap komponen diidentifikasi dengan namanya, dan lokasinya di dalam sistem dapat dipastikan dengan mencatat garis yang mengarah ke dalam dan ke luar unit. Diagram skema dan diagram instalasi digunakan secara bersama dalam manual pesawat terbang.

3. Diagram Blok

Diagram blok (*block diagrams*) seperti pada Gambar 3.56 digunakan untuk menunjukkan hubungan yang disederhanakan dari sistem komponen yang lebih kompleks. Komponen individual digambar sebagai persegi panjang (blok) dengan garis yang menghubungkannya ke komponen (blok) lain yang dihubungkan selama operasi.

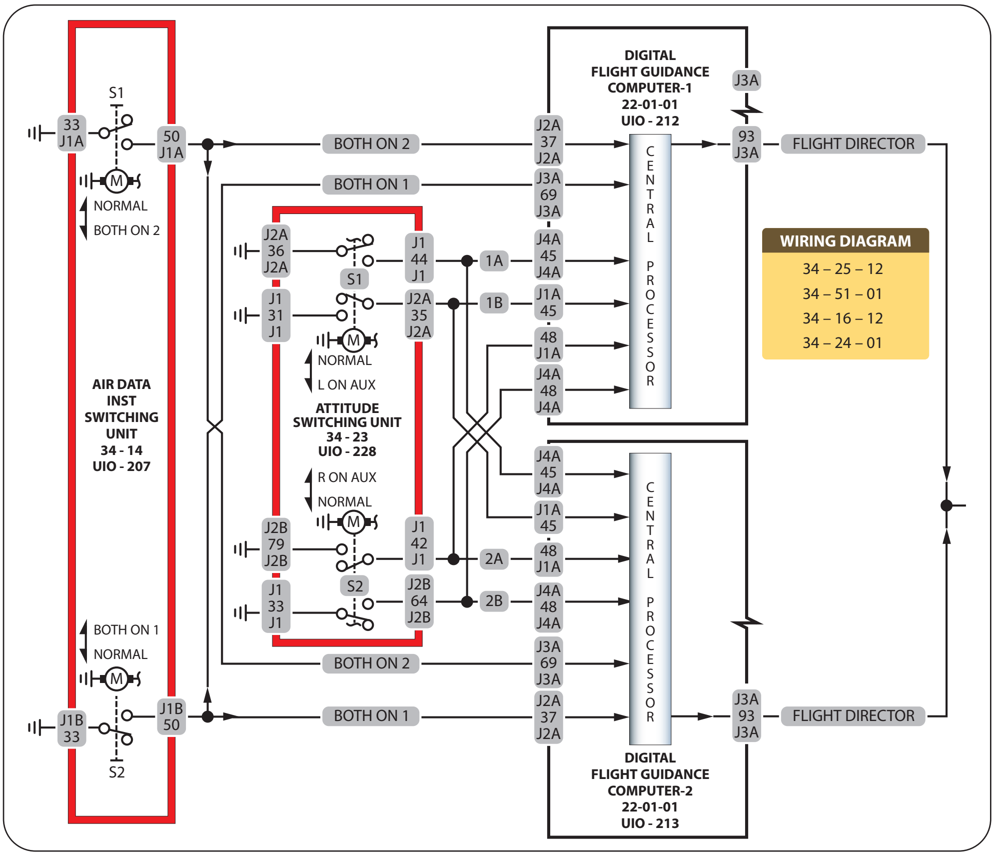


Gambar 3.56 Contoh diagram blok
(Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–General, 2018)

4. Diagram Pengkabelan

Gambar 3.57 menunjukkan kabel dan sirkuit listrik yang diberi kode untuk identifikasi dari semua peralatan dan perangkat listrik yang digunakan di pesawat. Diagram ini untuk rangkaian yang relatif sederhana, sementara untuk pesawat terkini bisa sangat rumit. Untuk teknisi yang terlibat dalam

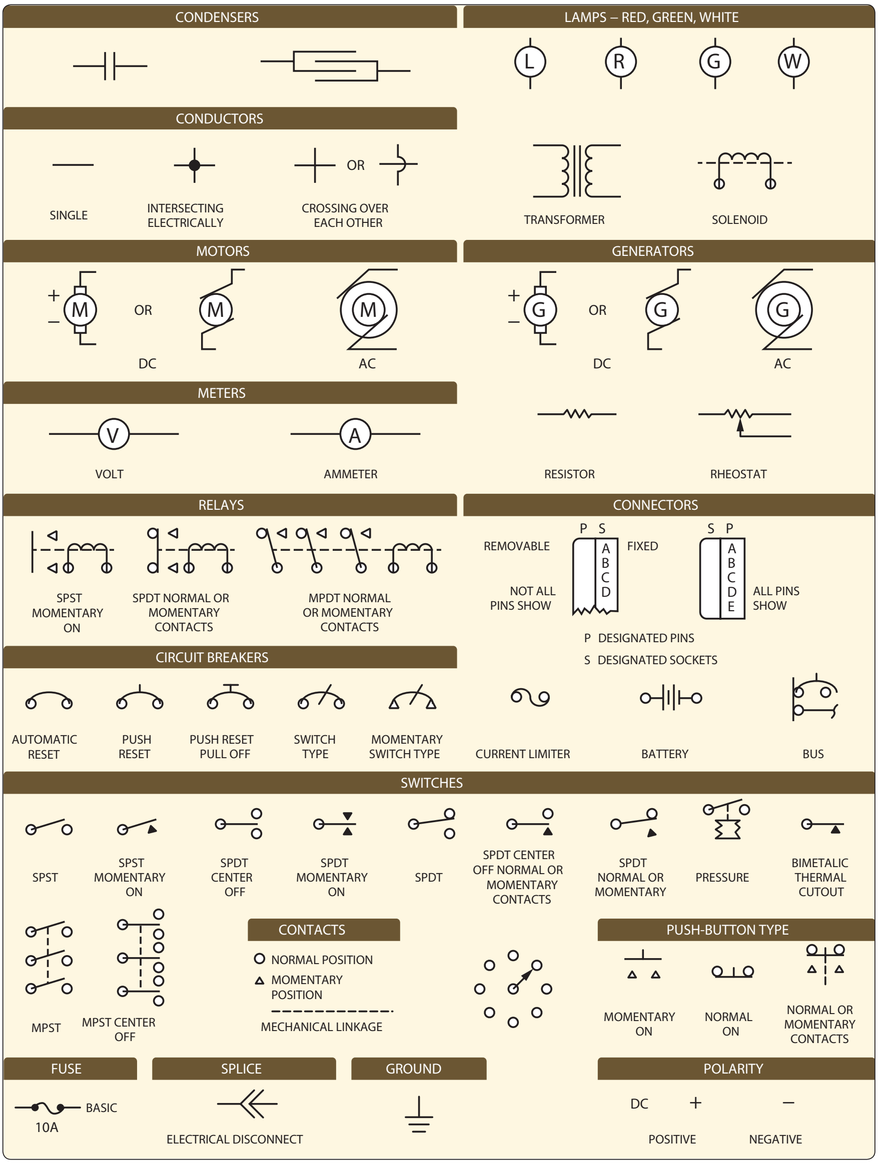
perbaikan dan instalasi listrik, pengetahuan menyeluruh tentang diagram pengkabelan (*wiring diagrams*) dan skema kelistrikan sangatlah penting.



Gambar 3.57 Contoh diagram pengkabelan (*wiring diagrams*)
(Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–General, 2018)

5. Simbol Komponen Kelistrikan

Simbol komponen kelistrikan (Gambar 3.58) merupakan gambar penyederhanaan yang mewakili berbagai komponen kelistrikan yang sebenarnya. Dengan mempelajari berbagai simbol, pekerjaan kelistrikan menjadi relatif sederhana sehingga fungsi dan bagaimana suatu komponen pada suatu unit rangkaian yang terhubung dalam suatu sistem bisa dengan mudah dipahami.

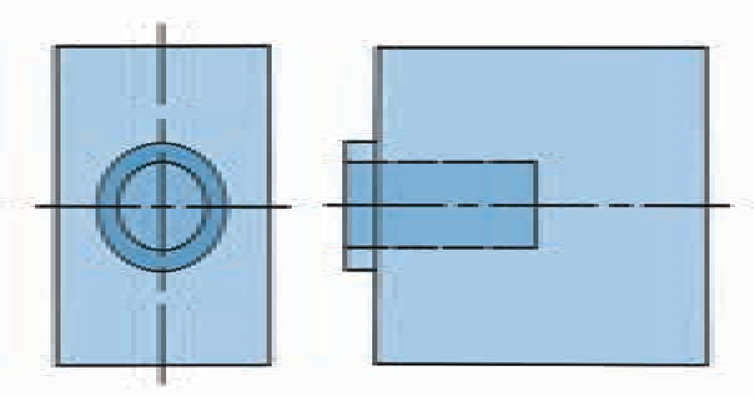


Gambar 3.58 Simbol komponen kelistrikan
(Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–General, 2018)

G. Membaca dan Menafsirkan Gambar

Teknisi pesawat udara tidak harus mahir dalam membuat gambar tetapi mereka harus memiliki pengetahuan kerja tentang informasi pekerjaan yang ingin disampaikan kepada mereka. Mereka harus punya kemampuan membaca dan menafsirkan gambar untuk membuat komponen baru, merakit komponen, melakukan modifikasi, dan perbaikan.

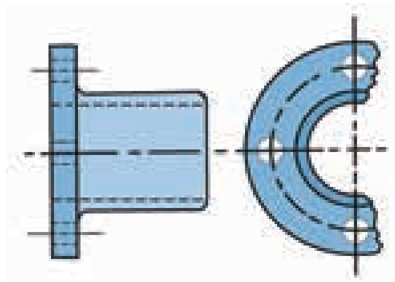
Dalam membaca dan menafsirkan gambar, langkah yang harus dilakukan adalah melihat nomor gambar, mencermati informasi pada *title block*, memahami catatan perubahan, kemudian memahami gambar atau ilustrasi pada area gambar. Pahami arti setiap garis pada setiap pandangan dan cari hubungannya dengan gambar pada pandangan lain sehingga diperoleh bentuk dan ukuran yang sesuai dan benar.



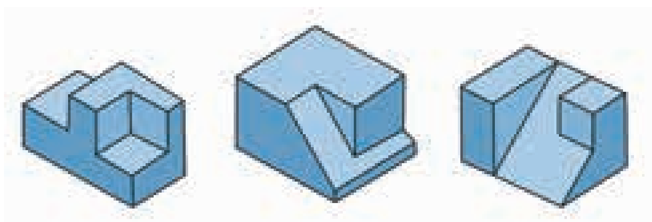
Contoh pada gambar di atas, jika hanya melihat dua lingkaran pada pandangan atas belum menghasilkan makna yang pasti, tetapi setelah mencocokkan dengan pandangan depan, baru diketahui bahwa kedua lingkaran tersebut adalah bagian yang menonjol dan berlubang. Dari contoh sederhana tersebut, kalian tidak akan dapat membaca hanya dengan melihat satu tampilan pandangan, tetapi ketika diberikan dua atau tiga pandangan maka semua pandangan harus dicocokkan agar diperoleh bentuk yang benar.

Aktivitas Pembelajaran

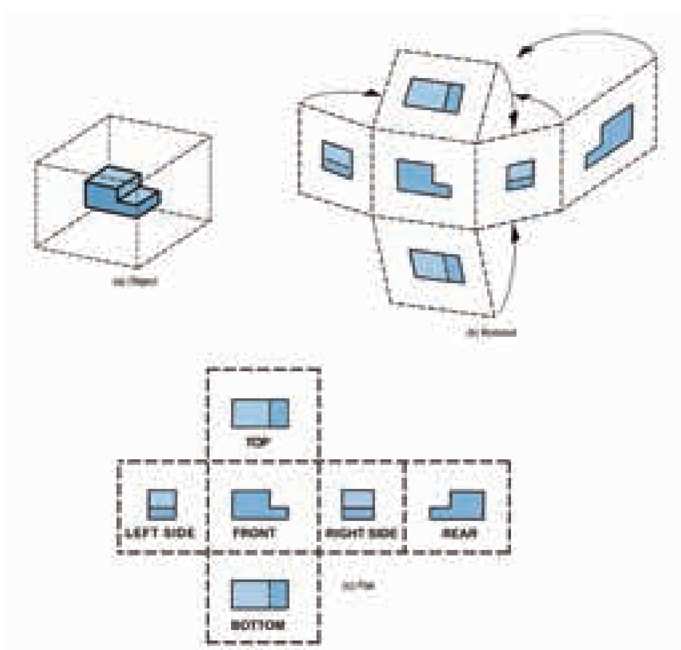
1. Bahaslah mengenai fungsi gambar teknik bersama teman kelompokmu hingga kalian tahu apa akibat yang mungkin terjadi apabila seorang pekerja tidak memahami gambar teknik yang diberikan kepadanya!
2. Pergilah ke ruang menggambar dan temukan alat apa saja yang ada di sana lalu uraikan fungsinya satu per satu!
3. Lukis ulang gambar berikut ini dan cermati perbedaan garis-garis yang dipakai! Jangan lupa lengkapi gambar kalian dengan *title block*/etiket dan usahakan untuk memahami maksud gambar!



4. Perhatikan gambar-gambar di bawah ini, lalu gambarlah benda-benda ini ke dalam proyeksi sudut pertama/proyeksi Eropa dan proyeksi sudut ketiga/proyeksi Amerika!



5. Mari berlatih membuat gambar potongan benda dalam proyeksi ortogonal. Lukislah gambar-gambar di bawah ini, lalu apa yang bisa kalian pahami?

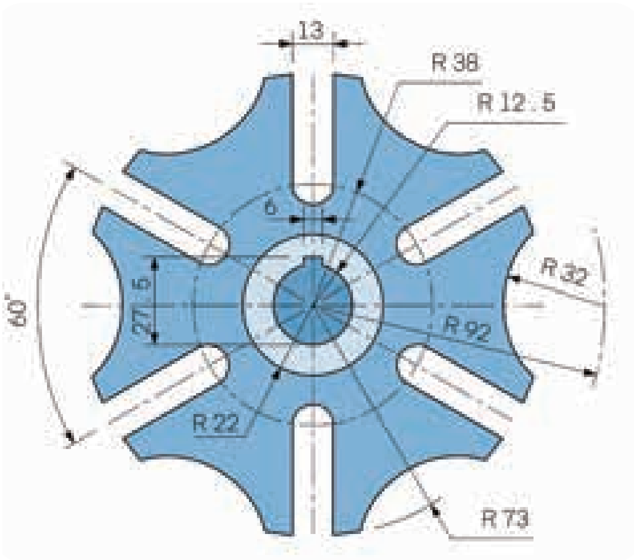


Rangkuman

1. Gambar teknik adalah sarana untuk menuangkan gagasan melalui penggunaan simbol, garis, dan ketentuan-ketentuan lain yang sama-sama dipahami oleh desainer teknik, operator, teknisi, dan orang terkait yang berlaku secara internasional.
2. Gambar teknik terbagi menjadi tiga kategori, yaitu gambar detail, gambar perakitan (*assembly*), dan gambar pemasangan (*installation*).
3. Kepala gambar (*title block*/etiket) memuat informasi mengenai nama gambar, nama instansi, skala yang dipergunakan, nama juru gambarnya, kapan digambar, dan proyeksi apa yang digunakan, serta keterangan lainnya.
4. Proyeksi adalah cara menyatakan atau menggambarkan suatu bentuk dan ukuran objek pada bidang datar.
5. Gambar proyeksi terbagi menjadi dua jenis, yaitu proyeksi piktorial dan proyeksi ortogonal.
6. Gambar piktorial sering digunakan sebagai gambar ilustrasi teknik dalam katalog produk mesin atau produk teknik lainnya karena menampilkan gambar benda yang mendekati bentuk dan ukuran.
7. Teknik proyeksi aksonometri dikenal tiga cara proyeksi, yaitu proyeksi isometri (*isometric projections*), proyeksi dimetri (*dimetric projections*), dan proyeksi trimetri (*trimetric projections*).
8. Proyeksi sudut pertama adalah metode yang digunakan untuk proyeksi ortogonal dan disetujui penggunaannya secara internasional, kecuali oleh Amerika, karena itulah disebut juga dengan proyeksi Eropa. Proyeksi sudut ketiga disebut juga dengan proyeksi Amerika.
9. Pandangan tambahan (*auxiliary views*) diperlukan untuk menunjukkan bentuk dan ukuran yang sebenarnya.
10. Gambar irisan adalah teknik gambar potongan yang membuang sebagian benda yang menutupi sehingga bagian yang terhalang menjadi tampak.
11. Diagram merupakan representasi grafik suatu rakitan atau sistem yang menunjukkan berbagai bagian dan mengungkapkan metode atau prinsip operasi atau proses kerjanya.
12. Terdapat beberapa jenis diagram, yaitu diagram instalasi, diagram skema, diagram blok, dan diagram *wiring*.
13. Dalam membaca dan menafsirkan gambar, langkah yang harus dilakukan adalah melihat nomor gambar lalu mencermati informasi pada *title block*, memahami catatan perubahannya, kemudian memahami gambar atau ilustrasi pada area gambar.

Tes Formatif

1. Sebutkan alat apa saja yang dibutuhkan untuk menggambar? Jelaskan fungsinya masing-masing!
2. Apa tujuan mempelajari gambar teknik? Jelaskan!
3. Informasi apa saja yang terdapat dalam selembar gambar teknik?
4. Terbagi dalam berapa kategori gambar teknik itu? Sebutkan!
5. Jelaskan macam-macam garis beserta ketebalan dan penggunaanya!
6. Praktikkan cara menggambar dua dimensi dengan ketentuan:
   a. Siapkan kertas A3 dengan posisi mendatar.
   b. Buat garis tepi dan kepala gambar sesuai ketentuan.
   c. Gambar ulang gambar di bawah ini dengan skala 1 : 1 dengan nama gambar “Menggambar Dua Dimensi”.



7. Jelaskan pentingnya mempelajari ilmu proyeksi!
8. Jelaskan prinsip proyeksi sudut pertama dan proyeksi sudut ketiga!
9. Jelaskan tujuan dari menyajikan gambar dengan potongan!
10. Jenis benda apa saja yang cocok disajikan dengan potongan separuh? Jelaskan!

Refleksi

Beri tanda centang (√) apabila kalian telah paham pada pembahasan di bawah ini!

☐	Memahami pengertian dan fungsi gambar teknik
☐	Mengenal peralatan gambar dan dapat menggunakannya dengan baik.
☐	Memahami simbol-simbol garis dan penerapannya.
☐	Memahami sistem proyeksi Amerika dan sistem proyeksi Eropa.
☐	Memahami maksud menggambar potongan sebuah benda dan dapat menyajikannya ke dalam kertas gambar.
☐	Mengerti cara membaca diagram instalasi, diagram skema, diagram blok, dan diagram *wiring*.

Apabila masih ada materi yang belum kalian pahami, silakan tanyakan kepada gurumu.

Pengayaan

Kalian harus sering berlatih membaca gambar agar kalian benar-benar memahami cara menafsirkan suatu gambar. Kalian juga bisa menambah wawasan dengan mencarinya di internet, contohnya dengan memindai *QR-code* di bawah ini.

https://www.youtube.com/c/ATACHAPTER

KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET, DAN TEKNOLOGI
REPUBLIK INDONESIA, 2022
Dasar-Dasar Teknik Pesawat Udara
untuk SMK/MAK Kelas X
Penulis: Maruli Tua, Asep Gunawan
ISBN: 978-623-388-011-4 (PDF)

Bab IV

Dasar-Dasar Aerodinamika

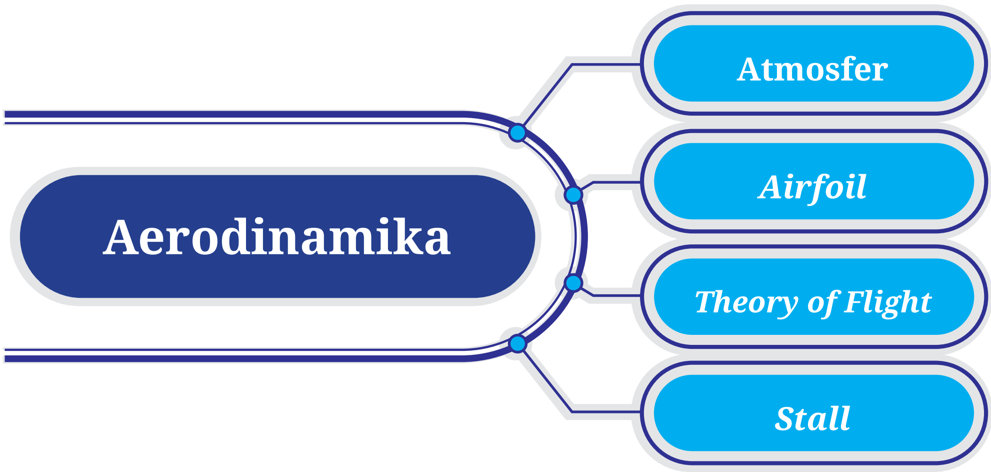


Tujuan Pembelajaran

Setelah mempelajari materi ini diharapkan kalian dapat:

1. Menjelaskan beberapa teori, di antaranya karakteristik dan jenis lapisan atmosfer bumi yang menjadi landasan untuk mengetahui komposisi udara, suhu, tekanan, kerapatan, dan kelembapannya.
2. Menjelaskan prinsip dan perkembangan teori terbang (*theory of flight*), meliputi gaya-gaya yang bekerja pada pesawat udara serta prinsip hukum Bernoulli dan hukum Newton.
3. Menjelaskan pengertian, jenis, dan bagian-bagian dari *airfoil* dikaitkan terhadap performa terbang pesawat udara dan pengaruh *stall* terhadap penerbangan.

Peta Konsep



Kata Kunci: *Aerodinamika, atmosfer, airfoil, theory of flight, angle of attack, angle of incidence, lift, weight, thrust, drag, glide ratio, laminar flow, turbulen flow, boundary layer, turn of bank,* dan *stall.*



Gambar 4.1 Pesawat udara yang begitu besar dan berat dapat terbang berkaitan dengan aerodinamika
(Sumber: modernairliners.com, 2015)

Pernahkah kalian berpikir bagaimana sebuah pesawat udara yang besar dan sangat berat itu dapat terbang? Apa yang menyebabkan pesawat udara itu dapat terbang? Bagaimana fenomena udara yang mengalir di suatu benda? Bagaimana sebenarnya hubungan pesawat udara dengan udara saat terbang? Apakah ada media selain udara yang membuat pesawat bisa terbang? Apakah hubungan lapisan atmosfer bumi dengan kondisi udara sekitar? Itulah beberapa pertanyaan yang selalu muncul di kalangan orang awam ketika hendak mempelajari pesawat dan aliran udara. Untuk bisa menjawab pertanyaan di atas, kalian dapat mempelajari dahulu ilmu dasar aerodinamika.

Aerodinamika berasal dari dua suku kata, yaitu aero yang berarti udara atau fluida gas, dan dinamika (*dynamic*) yang berarti pergerakan. Ilmu aerodinamika (*aerodynamic theory*) adalah suatu cabang ilmu yang mempelajari tentang dinamika aliran udara dan gaya-gaya yang ditimbulkan akibat pergerakan atau dinamika aliran udara tersebut. Dengan kata lain, aerodinamika mencakup hubungan atmosfer, properti udara, aliran udara, dan struktur pesawat udara.

Jadi, seorang teknisi pesawat udara haruslah memahami hubungan antara ilmu aerodinamika dengan kinerja terbang pesawat udara.

A. Atmosfer

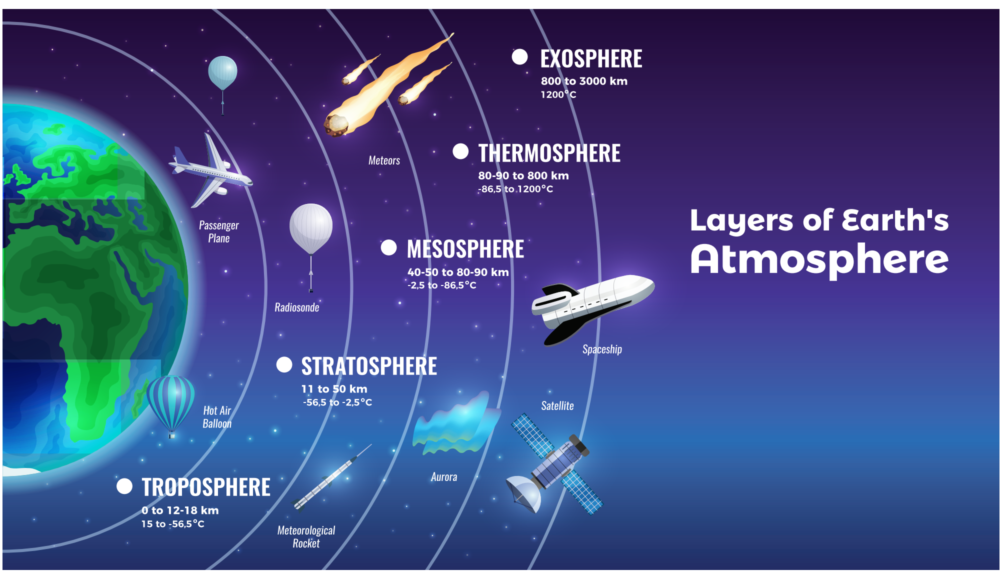
Atmosfer (*atmosphere*) berasal dari kata "*atmo*" yang berarti udara dan "*sfera*" yang berarti lapisan. Jadi, atmosfer adalah lapisan udara atau gas berlapis-lapis yang membungkus bumi. Sedangkan yang dimaksud dengan udara adalah semua gas yang tersusun dari berbagai zat yang tidak berbau, tidak berwarna, dan tidak dapat dilihat, tetapi dapat dirasakan keberadaannya.

Atmosfer terdiri atas enam lapisan yang masing-masing memiliki perbedaan properti berdasarkan ketinggiannya. Keenam lapisan atmosfer tersebut adalah sebagai berikut.

1. **Lapisan Troposfer**; yaitu lapisan pertama dan paling dekat dengan bumi. Ketinggiannya berada di antara 8.000 hingga 12.000 meter di atas permukaan laut (m dpl). Di lapisan ini terjadi perubahan cuaca, angin, terbentuknya awan, dan terdapatnya udara untuk bernapas.
2. **Lapisan Stratosfer**; berada pada ketinggian antara 12.000 hingga 50.000 m dpl dan memiliki suhu yang cukup dingin dengan semakin

bertambahnya ketinggian. Selain itu, di lapisan ini terdapat pula lapisan ozon yang berfungsi melindungi bumi dari radiasi ultraviolet matahari.

3. **Lapisan Mesosfer**; di atas lapisan stratosfer ada lapisan mesosfer yang memiliki ketinggian 50.000 hingga 80.000 m dpl, dan ketebalan lapisan ini bisa mencapai 30.000 meter. Pada lapisan ini, keberadaan udara sangat minim atau tipis, dan suhunya pun semakin dingin seiring bertambahnya ketinggian.
4. **Lapisan Termosfer**; suhu lapisan ini dapat mencapai -150°C dengan ketinggian antara 80.000 hingga 700.000 m dpl.
5. **Lapisan Ionosfer**; lapisan ini sering kali bergejolak dan bergerak bergantung pada seberapa banyak energi yang diserap dari matahari.
6. **Lapisan Eksosfer**; lapisan ini adalah lapisan terluar yang memiliki ketebalan paling besar dibandingkan lapisan atmosfer lainnya. Ketinggian lapisan ini bisa mencapai 700.000 hingga 190.000.000 m dpl.



Gambar 4.2 Lapisan atmosfer bumi
(Sumber: freepik.com/macrovector)

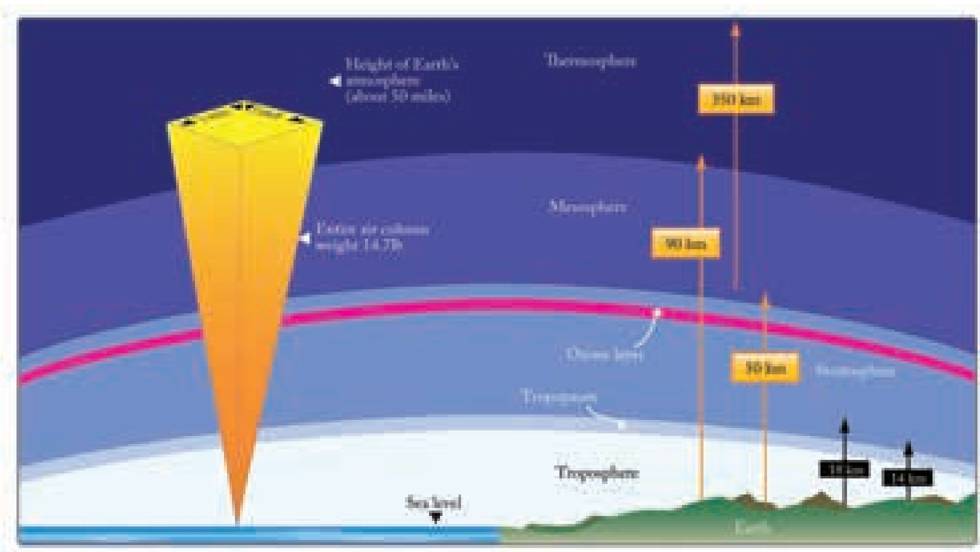
Sifat-sifat penting untuk menjelaskan gerakan atau aliran suatu fluida udara secara umum, di antaranya tekanan udara, suhu udara, kerapatan udara, kelembapan udara, bilangan Mach, dan kecepatan suara.

1. Tekanan Udara

Apa yang kalian rasakan ketika berada di gunung? Dingin, bukan? Ternyata, penyebab suhu di gunung begitu dingin dibandingkan dengan suhu di dataran rendah (atau sama dengan permukaan air laut) adalah tekanan udara (*air pressure*).

Setiap benda memiliki massa, dan udara merupakan bagian dari suatu benda memiliki massa yang relatif kecil. Walaupun massanya kecil, tetapi jumlahnya begitu besar. Akibatnya, gravitasi bumi menarik udara ke bawah dan menekan bumi sehingga terjadilah tekanan udara.

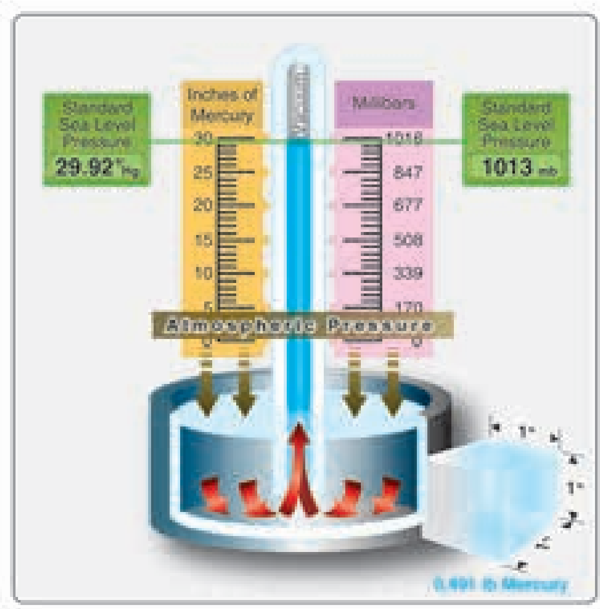
Tekanan atmosfer didefinisikan sebagai gaya yang diberikan terhadap permukaan bumi, disebabkan oleh adanya berat udara di atas permukaan bumi tersebut. Berat adalah gaya yang diterapkan pada luas permukaan yang menghasilkan tekanan. Gaya (F) adalah luas permukaan (A) dikalikan dengan tekanan (P), atau $F = A \times P$. Oleh karena itu, untuk mendapatkan besaran tekanan adalah gaya dibagi luas ($P = \frac{F}{A}$).



Gambar 4.3 Tekanan atmosfer di permukaan laut 14,7 psi
(Sumber: EASA Module 08 Basic Aerodinamics, 2014)

Tekanan atmosfer (*atmosphere pressure*) diukur dengan instrumen yang disebut barometer, terbuat dari cairan merkuri dalam sebuah tabung yang menunjukkan besar tekanan atmosfer dalam satuan inci merkuri (in Hg). Gambar 4.4 menunjukkan cara kerja barometer untuk mengukur tekanan

atmosfer dalam satuan inci merkuri dan satuan metrik (milibar, mb). Dari barometer inilah kemudian dikembangkan altimeter yang dipasang pada pesawat udara guna mengetahui ketinggian pesawat udara ketika terbang.



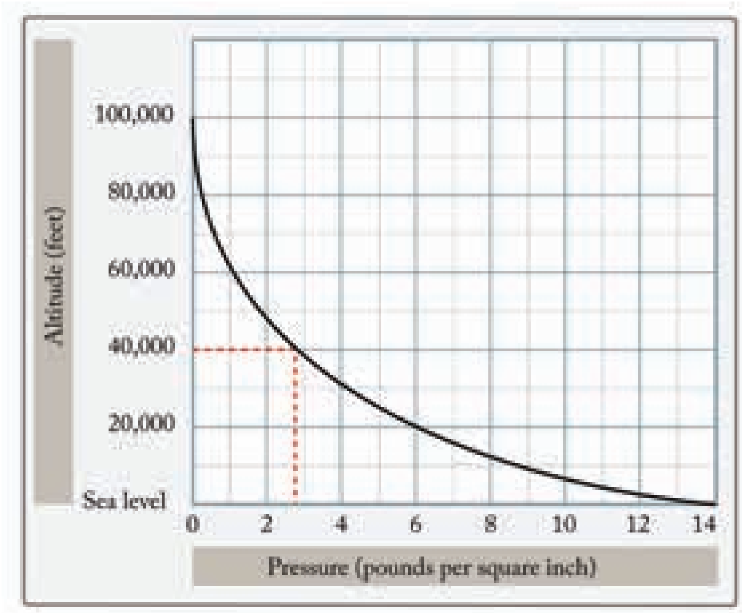
Gambar 4.4 Barometer untuk mengukur tekanan atmosfer.
(Sumber: EASA Module 08 Basic Aerodinamics, 2014)

Di permukaan laut, tekanan atmosfer rata-ratanya adalah 14,7 psi, setara dengan 29,92 in Hg atau jika dinyatakan dalam satuan metrik adalah 1.013,25 mb. Perhatikan tabel di bawah ini yang menetapkan pengukuran standar tekanan atmosfer pada permukaan laut untuk berbagai satuan lain.

Tabel 4.1 Tekanan atmosfer pada permukaan laut

Atmosphere Pressure										
1 atm	=	14,7 psi	=	29,92 in Hg	=	1.013,3 hPa	=	1.013,2 mb	=	760 mm Hg

Tekanan atmosfer menurun dengan meningkatnya ketinggian. Perhatikan gambar Gambar 4.5! Penurunan tekanan udara sangat cepat pada ketinggian 50.000 kaki, di mana tekanan atmosfer turun hingga sepersepuluh dari nilai tekanan udara di permukaan laut. Pada ketinggian 40.000 kaki, tekanan udara hanya 2,72 psi.



Gambar 4.5 Besar tekanan atmosfer pada berbagai ketinggian
(Sumber: EASA Module 08 Basic Aerodinamics, 2014)

Jadi, jelas bahwa besar tekanan atmosfer bervariasi terhadap ketinggian. Saat pesawat naik, tekanan atmosfer turun, volume oksigen dalam kandungan udara menurun, dan suhu juga menurun. Perubahan ketinggian memengaruhi kinerja pesawat di berbagai aspek, seperti gaya angkat dan gaya dorong. Jika Gambar 4.5 diperhatikan lebih saksama, laju perubahan tekanan terlihat konstan pada sekitar –0,5 psi hingga ketinggian 10.000 kaki untuk setiap kenaikan ketinggian 1.000 kaki. Dari pernyataan ini dapat dijabarkan dalam bentuk rumus untuk menentukan besarnya tekanan atmosfer, yaitu:

$$P\,(altitude) = P_{atm} - \left(\frac{h}{1.000}\right) \times 0{,}5$$

Keterangan:

P = tekanan atmosfer pada ketinggian pesawat udara (psi)

P_{atm} = tekanan atmosfer di permukaan laut (= 14,7 psi)

h = ketinggian pesawat udara (ft)

Contoh:

Sebuah pesawat udara terbang pada ketinggian 8.000 kaki, maka tekanan atmosfer pada ketinggian tersebut adalah:

$$P\ (altitude) = P_{sea\ level} - \left(\frac{h}{1.000}\right) \times 0{,}5$$

$$P\ (8.000\ \text{ft}) = 14{,}7 - \left(\frac{8000}{1.000}\right) \times 0{,}5$$

$$= 14{,}7 - 8 \times 0{,}5$$

$$= 14{,}7 - 4$$

$$= 10{,}7\ \text{psi}$$

2. Suhu dan Ketinggian

Perubahan suhu di atmosfer selalu menjadi perhatian bagi penerbang. Sistem cuaca menyebabkan perubahan suhu di dekat permukaan bumi. Suhu juga berubah seiring peningkatan ketinggian. Di dunia penerbangan, pengukuran suhu udara biasanya menggunakan satuan derajat celsius (°C) atau derajat Fahrenheit (°F). Antara kedua satuan pengukuran suhu tersebut memiliki persamaan matematis, yaitu:

$$C = \frac{5}{9} \times (F - 32^\circ)$$

$$F = \frac{9}{5} \times (C + 32^\circ)$$

Keterangan:

C = Suhu dalam derajat Celcius

F = Suhu dalam derajat Fahrenheit

Sebagian besar penerbangan sipil terjadi di lapisan troposfer di mana suhu akan menurun seiring dengan peningkatan ketinggian. Laju perubahan terlihat konstan di sekitar –2°C untuk setiap kenaikan ketinggian 1.000 kaki. Batas atas lapisan troposfer adalah lapisan tropopause. Lapisan ini dicirikan sebagai zona suhu yang relatif konstan sekitar –57°C. Pernyataan ini bisa dijabarkan dalam bentuk rumus untuk menentukan besar suhu, yaitu:

$$T^\circ C\ (altitude) = T_{sea\ level} - \left(\frac{h}{1.000}\right) \times 2^\circ C$$

Keterangan:

T = suhu pada ketinggian pesawat udara (°C)

$T_{sea\ level}$ = suhu di permukaan laut (= 15°C)

h = ketinggian pesawat udara (ft)

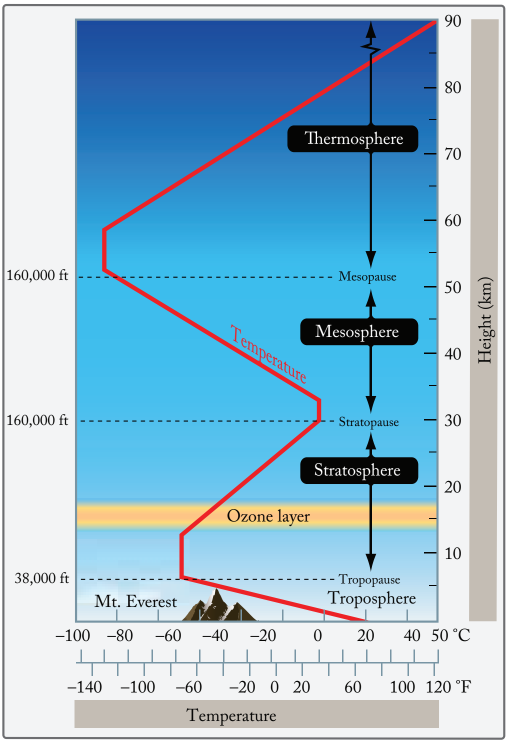
Contoh:

Sebuah pesawat udara terbang pada ketinggian 30.000 kaki, maka suhu pada ketinggian tersebut adalah:

$$T^{o}C\ (altitude) = T_{sea\ level} - \left(\frac{h}{1.000}\right) \times 2^{o}C$$

$$\begin{aligned} T^{o}C\ (30.000\ \text{ft}) &= 15^{o}C - \left(\frac{30.000}{1.000}\right) \times 2^{o}C \\ &= 15^{o}C - 30 \times 2^{o}C \\ &= 15^{o}C - 60^{o}C \\ &= -45^{o}C \end{aligned}$$

Bisa kalian bayangkan bagaimana dinginnya udara pada ketinggian tersebut. Oleh karena itu, pesawat udara dirancang sedemikian rupa agar penumpang merasa nyaman dan aman selama proses penerbangan berlangsung.



Gambar 4.6 Perubahan suhu pada lapisan atmosfer
(Sumber: EASA Module 08 Basic Aerodinamics, 2014)

3. Kerapatan Udara

Seperti diketahui, kerapatan udara (*air density*, ρ) nilainya bervariasi berbanding terbalik dengan suhu atau kenaikan suhu. Fenomena ini menjelaskan mengapa saat kondisi udara panas, kinerja pesawat saat lepas landas menurun. Udara yang tersedia untuk pembakaran kurang padat. Udara dengan kerapatan rendah mengandung lebih sedikit oksigen secara total untuk digabungkan dengan bahan bakar.

Untuk memberikan perhitungan dasar secara teoretis perbandingan kinerja ataupun instrumen lainnya maka telah dikembangkan nilai standar dan karakteristik atmosfer. Organisasi Penerbangan Sipil Internasional (*International Civil Aviation Organization*, ICAO), ISO, dan berbagai organisasi pemerintah, telah menetapkan dan memublikasikan nilai *International Standard Atmosphere* (ISA) seperti pada tabel di bawah ini.

Tabel 4.2 *International Standard Atmosphere*
(Sumber: EASA Module 08 Basic Aerodinamics, 2014)

ALTITUDE	TEMPERATURE		PRESSURE		DENSITY	
Feet	F°	C°	psi	HPA	slug/ft³	kg/m³
Sea Level	59	15	14.67	1013.53	0.002378	1.23
1000	55.4	13	14.17	977.16	0.002309	1.19
2000	51.9	11	13.66	941.82	0.002242	1.15
3000	48.3	9.1	13.17	908.11	0.002176	1.12
4000	44.7	7.1	12.69	874.94	0.002112	1.09
5000	41.2	5.1	12.05	843.07	0.002049	1.06
6000	37.6	3.1	11.78	812.2	0.001988	1.02
7000	34	1.1	11.34	781.85	0.001928	0.99
8000	30.5	-0.9	10.92	752.91	0.001869	0.96
9000	26.9	-2.8	10.5	724.28	0.001812	0.93
000 10	23.3	-4.8	10.11	697.06	0.001756	0.9
000 15	5.5	-14.7	8.3	571.82	0.001496	0.77
000 20	-12.3	-24.6	6.75	465.4	0.001267	0.65
000 25	-30.2	-34.5	5.46	376.01	0.001066	0.55
000 30	-48	-44.4	4.37	301.3	0.000891	0.46
000 35	-65.8	-54.3	3.47	238.42	0.000738	0.38
000 40	-69.7	-56.5	2.72	187.54	0.000587	0.3
000 45	-69.7	-56.5	2.15	147.48	0.000462	0.24
000 50	-69.7	-56.5	1.68	115.83	0.000362	0.19

Kerapatan udara adalah massa per satuan volume. Rasio kerapatan udara sekitar (σ) didefinisikan sebagai kerapatan udara pada suatu ketinggian (ρ) dibandingkan dengan nilai kerapatan udara standar pada permukaan air laut (ρ_0), di mana ρ_0 bernilai 1,225 kg/m^3 (ISA).

$$\sigma = \frac{\rho}{\rho_0}$$

Semakin tinggi dari permukaan bumi, tekanan dan kerapatan udara menjadi rendah. Hal ini akan menyebabkan kandungan udara menyebar dan pergerakannya melambat, akibatnya suhu dingin lebih terasa. Sedangkan bila berada di dataran rendah, tekanan dan kerapatan udara menjadi tinggi, sehingga sejumlah kandungan udara bergerak lebih cepat dan saling bertubrukan satu sama lain yang selanjutnya mengakibatkan suhu menjadi panas.

Perubahan kerapatan udara tersebut tentu saja akan memengaruhi kinerja aerodinamis pesawat dengan tenaga dorong yang sama. Sebuah pesawat udara dapat terbang lebih cepat di ketinggian yang kerapatan udaranya lebih rendah daripada terbang rendah yang kerapatan udaranya lebih besar. Ini karena udara di ketinggian tersebut menawarkan hambatan yang lebih kecil terhadap pesawat ketika mengandung volume partikel udara yang sedikit.

4. Kelembapan Udara

Kelembapan udara (*air humidity*) adalah banyaknya uap air di udara. Jumlah maksimum uap air yang dapat ditampung udara bervariasi terhadap suhunya. Semakin tinggi suhu udara, semakin banyak uap air yang dapat diserap.

Kelembapan absolut adalah berat uap air dalam satuan volume udara. Sedangkan kelembapan relatif dalam bentuk persen adalah perbandingan kelembapan sebenarnya di udara dengan kelembapan yang akan ditampungnya pada suhu dan tekanan jenuh yang sama.

Dengan asumsi bahwa suhu dan tekanan yang sama, kerapatan udara berbanding terbalik dengan kelembapan. Pada kondisi lembap, kerapatan udara lebih sedikit dibandingkan kondisi kering. Untuk alasan ini, pesawat udara membutuhkan landasan pacu yang lebih panjang untuk lepas landas.

5. Bilangan Mach

High speed aerodynamics sering disebut kompresibel aerodinamika, merupakan cabang studi khusus aeronautika. *High speed aerodynamics* digunakan oleh perancang pesawat saat merancang pesawat udara berkemampuan kecepatan *Mach* 1 ke atas.

Dalam studi aeronautika, untuk mencapai kecepatan kompresibilitas tinggi maka pengaruh udara harus diatasi. Ditandai dengan sebutan bilangan

Mach untuk menghormati Ernst Mach, seorang fisikawan akhir abad ke-19 yang mempelajari dinamika gas. Bilangan Mach adalah perbandingan kecepatan pesawat dengan kecepatan lokal suara dan memengaruhi banyak kompresibilitas.

Saat pesawat bergerak di udara, molekul udara di dekat pesawat terganggu dan bergerak di sekitar pesawat. Molekul udara itu didorong ke samping seperti halnya perahu yang menciptakan busur gelombang saat bergerak melalui air. Jika pesawat berada pada kecepatan rendah, biasanya kurang dari 250 mph, kepadatan udara tetap konstan. Namun, pada kecepatan yang lebih tinggi, sebagian energi pesawat mengompresi udara dan mengubah kepadatan udaranya secara lokal. Semakin besar dan berat pesawatnya maka lebih banyak udara yang dipindahkan dan membuat pengaruh kompresi yang lebih besar di pesawat.

Pengaruh ini menjadi semakin penting saat kecepatan meningkat. Saat kecepatan mendekati dan melampaui kecepatan suara, sekitar 760 mph (di permukaan laut), gangguan tajam menghasilkan gelombang kejut yang memengaruhi gaya angkat dan gaya hambat pesawat serta kondisi aliran di bagian hilir gelombang kejut. Gelombang kejut membentuk kerucut bertekanan molekul udara yang semuanya bergerak ke arah luar dan belakang dan meluas ke *ground*. Pelepasan tekanan secara tajam, setelah penumpukan oleh gelombang kejut akan terdengar sebagai dentuman sonik.



Gambar 4.7 *High speed aerodynamics*
(sumber: www.supersonicmyths.com, 2022)

Di bawah ini adalah berbagai kondisi yang dihadapi pesawat udara saat kecepatan dirancang meningkat.

a. Kondisi subsonik terjadi untuk bilangan *Mach* yang kurang dari 1 (100–350 mph). Untuk kondisi subsonik terendah, kompresibilitas dapat diabaikan.

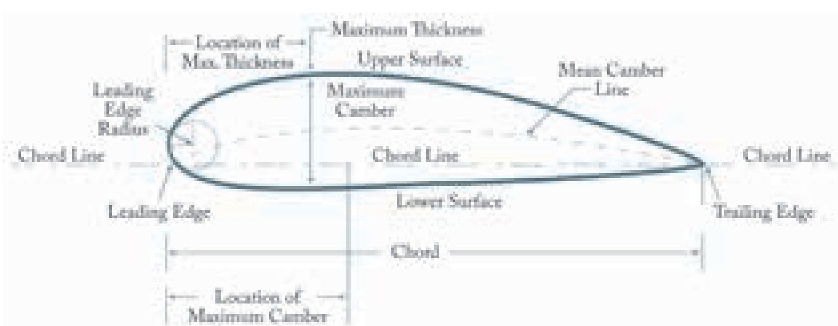
b. Saat kecepatan pesawat udara mendekati kecepatan suara atau *Mach* = 1 (350–760 mph) maka aliran udara dapat dikatakan menjadi transonik. Di beberapa lokasi di pesawat udara, kecepatan lokal udara melebihi kecepatan suara. Karena hambatan yang tinggi terkait dengan pengaruh kompresibilitas maka pesawat udara tidak dioperasikan dalam kondisi jelajah mendekati *Mach* 1.

c. Kondisi supersonik terjadi untuk 1 < *Mach* < 3 (760–2.280 mph). Pengaruh kompresibilitas gas penting dalam rancang pesawat udara supersonik karena gelombang kejut yang dihasilkan oleh permukaan pesawat udara. Untuk kecepatan supersonik tinggi, 3 < *Mach* < 5 (2.280–3.600 mph), *aerodynamic heating* menjadi faktor yang sangat penting dalam rancang pesawat udara.

d. Untuk kecepatan *Mach* > 5, aliran udara dapat dikatakan sebagai hipersonik. Pada kecepatan ini, sebagian energi dari pesawat udara menjadi energi kimia yang menarik ikatan dan menyatukan molekul nitrogen dan oksigen di udara. Pada kecepatan ini, kimia udara harus dipertimbangkan saat menentukan gaya-gaya pada pesawat udara.

B. *Airfoil*

Apa itu *airfoil* ? Berbentuk apakah *airfoil* itu? Coba kalian perhatikan gambar di bawah ini.

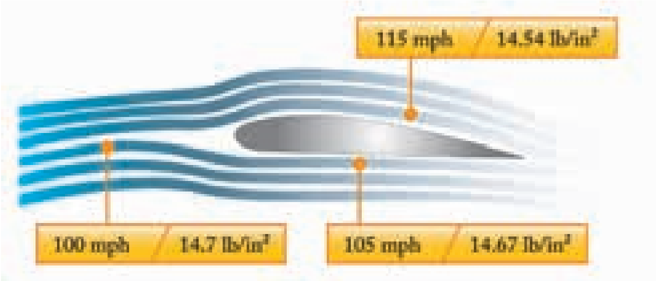


Gambar 4.8 *Airfoil*
(Sumber: EASA Module 08 Basic Aerodinamics, 2014)

Pada prinsipnya, pesawat dapat terbang karena adanya gaya angkat yang dihasilkan dari sayap dan gaya dorong yang dihasilkan oleh mesin. *Airfoil* adalah permukaan yang dirancang untuk mendapatkan gaya angkat. Bentuk sayap pesawat tidak sama antara sisi atas dan sisi bawahnya. Bagian

atas sayap sedikit menggembung dan bagian bawahnya agak rata. Inilah yang disebut bentuk *airfoil*. Dapat juga dikatakan, di bagian mana pun dari pesawat yang mengubah hambatan udara menjadi gaya angkat pasti berbentuk *airfoil*.

Perhatikan Gambar 4.8 dan 4.9, sisi atas *airfoil* memiliki lengkungan lebih besar ketimbang sisi bawahnya, dan aliran udara ketika melewati permukaan yang berbentuk *airfoil* akan mengalami perubahan kecepatan dan tekanan.



Gambar 4.9 *Airflow* pada permukaan *airfoil*
(Sumber: EASA Module 08 Basic Aerodinamics, 2014)

1. Bentuk *Airfoil*

Bentuk *airfoil* yang berbeda membuat sifat sayap juga berbeda. Sayap memiliki berbagai bagian *airfoil*, mulai dari pangkal hingga ujung (*root to tip*), ada yang berbentuk *taper*, *twist*, dan *sweep back*. Sifat aerodinamis yang dihasilkan oleh sayap adalah hasil dari tindakan setiap bagian sayap tersebut.

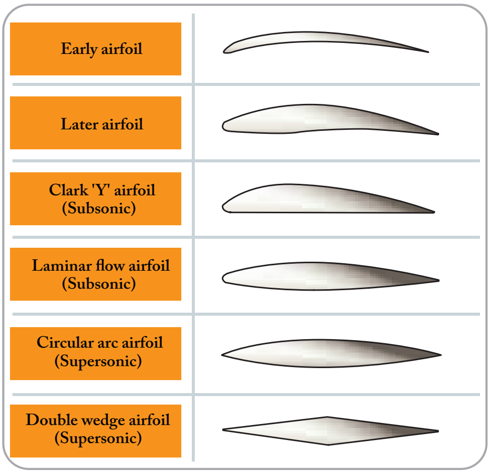
Bentuk *airfoil* menentukan jumlah turbulensi atau gaya gesek permukaan yang dihasilkannya, yang kemudian akan memengaruhi efisiensi sayap. Turbulensi dan gesekan dipengaruhi oleh rasio kehalusan pada permukaan benda, yang didefinisikan sebagai rasio panjang tali busur (*chord*) dari *airfoil* dengan ketebalan maksimum. Jika sayap memiliki rasio kehalusan yang tinggi, artinya sayap tersebut berbentuk sangat tipis. Sayap yang tebal memiliki rasio kehalusan yang rendah. Sayap dengan rasio kehalusan tinggi menghasilkan gaya gesek permukaan yang besar. Sayap dengan rasio kehalusan rendah menghasilkan sejumlah besar turbulensi. Bentuk sayap terbaik adalah sayap yang mampu menghasilkan turbulensi dan gaya gesek permukaan minimum.

Efisiensi sayap diukur dari rasio gaya angkat (*lift*) dan gaya hambatan (*drag*) (*L/D* ratio). Rasio ini bervariasi bergantung pada sudut serang (*angle of*

attack), tetapi akan mencapai nilai maksimum untuk sudut serang tertentu. Di sudut ini, sayap telah mencapai efisiensinya. Bentuk *airfoil* merupakan faktor yang menentukan sudut serang sayap paling efisien. Hasil penelitian menunjukkan *airfoil* paling efisien adalah yang memiliki ketebalan maksimum hingga sepertiga dari bagian belakang *leading edge*.

Demi mendapatkan gaya angkat yang lebih tinggi, sayap dikembangkan dengan membentuk *airfoil* sedemikian rupa. Jumlah gaya angkat (*lift*) yang dihasilkan oleh suatu *airfoil* akan meningkat dengan peningkatan *chamber* sayap (*wing chamber*). Ingat lagi hukum Bernoulli, sayap mampu menghasilkan gaya angkat karena adanya *airfoil chamber*, ketika kecepatan udara meningkat maka tekanannya akan turun atau berkurang.

Chamber adalah asimetri dua permukaan kerja sebuah *airfoil*. *Chamber* dikatakan positif saat keluar dari tali busur (cembung/gembung) dan disebut chamber negatif bila garisnya ke dalam. Jadi, gaya angkat yang tinggi pada sayap memiliki *chamber* positif besar pada sisi atas dan *chamber* negatif pada sisi bawah. Gambar *wing chamber* bisa dilihat pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10 Bentuk-bentuk *airfoil*
(Sumber: EASA Module 08 Basic Aerodinamics, 2014)

Diketahui juga bahwa semakin besar perbandingan lebar sayap (*wingspan*) terhadap panjang tali busur (*chord*), maka gaya angkat yang diperoleh juga semakin besar. Perbandingan ini disebut *aspect ratio*. Semakin tinggi *aspect ratio*, semakin besar gaya angkatnya.

$$AR = \frac{b^2}{S}$$

Keterangan:
AR = *aspect ratio*
b = panjang sayap (m)
S = luas sayap (m^2)

Di sisi lain, sebuah *airfoil* yang sangat ramping (*streamline*) dan menawarkan hambatan udara yang kecil terkadang tidak memiliki gaya angkat yang cukup untuk mengangkat pesawat dari permukaan tanah. Jadi, umumnya pesawat modern memiliki bentuk *airfoil* yang sedang di antara bentuk *airfoil* ekstrem. Bentuk rancangan *airfoil* bergantung pada tujuan pesawat yang dirancang.

2. Karakter *Airfoil*

Suatu *airfoil* mempunyai nilai besaran gaya angkat, hambatan, dan posisi titik tekan atau momen tertentu pada saat terbang. Hal inilah yang disebut dengan karakter *airfoil*. Gaya angkat adalah gaya yang mendorong pesawat ke atas.

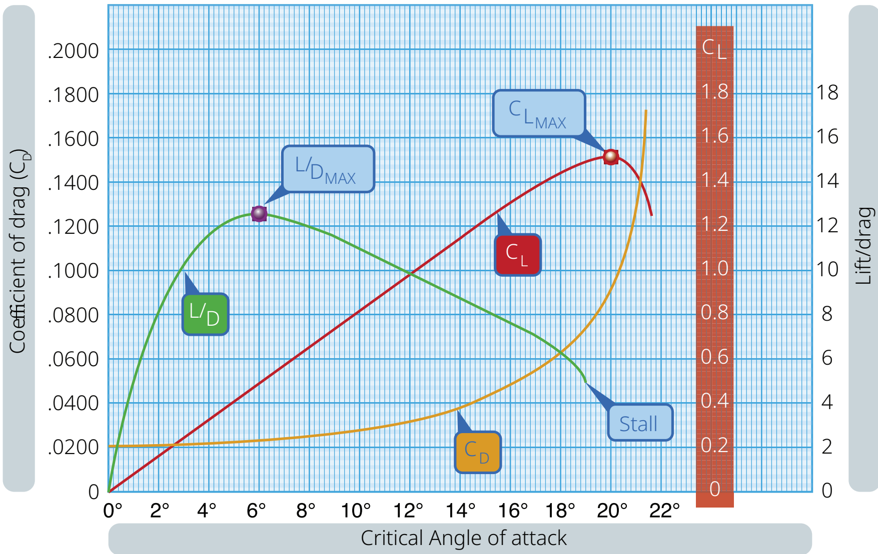
Sudut serang adalah sudut yang terbentuk antara aliran udara (*relative wind*) dengan tali busur (*chord line*). Dalam batas tertentu, gaya angkat dapat ditingkatkan dengan meningkatkan sudut serang, luas sayap, kecepatan, kerapatan udara, atau dengan mengubah bentuk *airfoil*. Ketika gaya angkat pada sayap pesawat sama dengan gaya gravitasi, pesawat dalam keadaan mempertahankan ketinggian pesawat.

Drag disebabkan oleh gangguan aliran udara pada sayap, *fuselage*, atau objek lain. Jadi, *drag* adalah gaya yang berlawanan dengan gaya dorong yang dibuat untuk menggerakkan pesawat ke depan. *Induced drag* timbul akibat terciptanya gaya angkat. Hal ini disebabkan oleh aliran udara pada ujung bagian belakang sayap (*trailing edge*) yang bertemu dengan udara yang mengalir di bawah sayap dan pergerakan umum pusaran yang tercipta menuju ujung sayap (*wing tip*). Semakin besar gaya angkat, semakin besar perbedaan tekanan di antara kedua aliran udara ini sehingga meningkatkan gaya hambat induksi (*induced drag*).

3. Koefisien Gaya Angkat dan Gaya Hambat

Koefisien gaya angkat merupakan komponen yang berkontribusi pada pembentukan gaya angkat, selain bentuk dan luas *airfoil*, sudut serang, dan berbagai kondisi aliran udara seperti kerapatan udara dan kecepatan udara.

Koefisien gaya angkat adalah perbandingan antara tekanan gaya angkat dengan tekanan dinamis dan merupakan fungsi dari bentuk sayap dan sudut serang. Sedangkan koefisien gaya hambat merupakan perbandingan antara tekanan gaya hambat dengan tekanan dinamis. Koefisien gaya hambat ini juga berkontribusi pada pembentukan gaya hambat.



Gambar 4.11 Koefisien gaya angkat
(Sumber: EASA Module 08 Basic Aerodinamics, 2014)

Perhatikan Gambar 4.11, pada grafik koefisien gaya angkat, setiap penambahan sudut serang (*angle of attack*) maka nilai C_L akan mengalami kenaikan sampai batas nilai sudut serang tertentu, setelah itu akan menurun akibat aliran udara mengalami perubahan dari aliran halus (*streamline*) ke aliran acak (*turbulent*). Sedangkan grafik koefisien gaya hambat akan mengalami kenaikan curam ketika sudah melewati batas sudut serang (*angle of attack*) tertentu.

4. Rasio Gaya Angkat/Gaya Hambat (*Lift/Drag Ratio*)

Penting kalian pahami bahwa sebuah pesawat udara diharapkan memiliki gaya angkat sebesar mungkin dengan hambatan seminimum mungkin. Namun, jika diperhatikan pada Gambar 4.11 nilai C_L maksimum dan C_D maksimum tidak terletak pada sudut serang yang sama. Oleh sebab itu, harus dicari besar sudut serang yang menghasilkan perbandingan gaya angkat dan gaya hambat yang paling baik.

Drag adalah harga yang harus dibayar untuk mendapatkan *lift*. Rasio *lift/drag* (*L/D*) adalah jumlah gaya angkat yang dihasilkan oleh sayap atau *airfoil* berbanding dengan gaya hambatnya. Rasio *L/D* menunjukkan efisiensi *airfoil*. Pesawat udara dengan *L/D* lebih tinggi memiliki efisiensi yang lebih baik daripada pesawat udara dengan *L/D* yang lebih rendah. Rasio *L/D* ditentukan dengan membagi persamaan *lift* dengan *drag*.

$$\frac{L}{D} = \frac{\frac{1}{2}.C_L.\rho.V^2.S}{\frac{1}{2}.C_D.\rho.V^2.S}$$

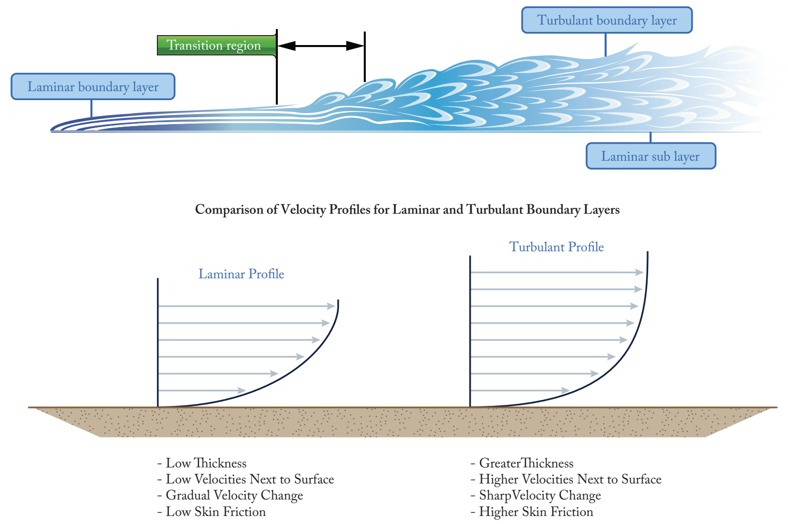
Keterangan:

L = gaya angkat (*pounds*)
D = gaya hambat (*pounds*)
C_L = koefisien gaya angkat
C_D = koefisien gaya hambat
V = kecepatan pesawat (ft/sec)
ρ = kerapatan udara (*slugs*/ft^3)
S = luas sayap (ft^2)

Rumus di atas mewakili koefisien gaya angkat (C_L) dan koefisien gaya hambat (C_D). Bentuk *airfoil* dan perangkat penghasil gaya angkat lainnya, seperti *flap*, memengaruhi produksi gaya angkat dan berubah seiring perubahan sudut serang. Rasio *lift/drag* digunakan untuk menyatakan hubungan antara *lift* dan *drag*, dan ditentukan dengan membagi koefisien *lift* dengan koefisien *drag* (C_L/C_D).

5. Lapisan Batas

Lapisan batas (*boundary layer*) adalah salah satu konsep penting yang harus dipahami dalam rancang bangun pesawat. Dalam ilmu fisika dan mekanika fluida, *boundary layer* adalah lapisan fluida yang berada di sekitar batas permukaaan benda. Jika dikaitkan dengan pesawat udara, *boundary layer* adalah bagian dari aliran udara yang paling dekat dengan permukaan pesawat.



Gambar 4.12 Karakteristik lapisan batas
(Sumber: EASA Module 08 Basic Aerodinamics, 2014)

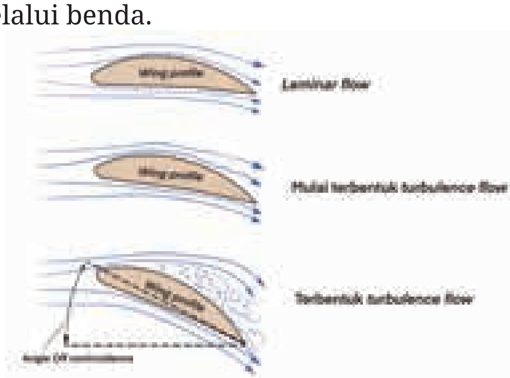
Terbentuk dua jenis profil pada *boundary layer*, yaitu profil laminar dan turbulen. Kedua jenis profil ini memiliki karakteristik yang berbeda. Jenis karakteristik profil laminar memiliki ketebalan yang tipis, kecepatan dekat permukaan lambat, perubahan kecepatan terjadi bertahap, dan gesekan permukaan rendah. Sedangkan profil turbulen memiliki ketebalan lebih besar, kecepatan dekat permukaan lebih tinggi, perubahan kecepatan yang terjadi sangat tajam, serta memiliki gesekan permukaan yang lebih tinggi (*higher skin velocity*).

6. Aliran Udara Laminar dan Turbulen

Ketika ada aliran udara mengalir melalui suatu benda kemudian terjadi aliran lapisan-lapisan udara yang rata dan sejajar dengan permukaan bendanya, maka aliran udara tersebut dinamakan aliran udara laminar (*laminar flow*).

Selain keadaan permukaan benda, kedudukan benda yang dilalui oleh aliran udara juga akan memengaruhi bentuk aliran udara. Bila keadaan permukaan benda yang dilalui oleh aliran udara ini tidak rata dan halus, benda ini membentuk sudut terhadap arah aliran udara, maka bentuk aliran udara akan menjadi lapisan-lapisan udara yang pecah dan berpusar. berpusar. Aliran udara yang berpusar ini disebut aliran udara turbulen (*turbulent flow*).

Seperti halnya aliran udara laminar, pada aliran udara turbulen juga terdapat pengurangan kecepatan lapisan-lapisan udara yang berubah menjadi pusaran-pusaran. Perubahan kecepatan ini dipengaruhi oleh jarak permukaan benda terhadap masing-masing pusaran ini. Makin jauh dari permukaan benda, kecepatan pusaran udara semakin besar yang akhirnya sampai pada kondisi di mana kecepatan pusaran ini sama dengan kecepatan udara sebelum melalui benda.



Gambar 4.13 Proses terbentuknya *turbulent flow* pada *airfoil*

7. Kontaminasi *Airfoil*

Apa bisa sayap pesawat udara terkontaminasi oleh benda-benda asing? Semua pembahasan tentang fenomena aerodinamis dari *airfoil* di awal diasumsikan bahwa *airfoil* pesawat bebas dari kontaminasi. Beberapa bentuk kontaminasi yang paling umum adalah es, salju, dan embun beku. Apabila semua itu terakumulasi di pesawat udara maka dapat mengurangi kapasitas pesawat untuk mendapatkan gaya angkatnya.



Gambar 4.14 Es yang terbentuk di permukaan sayap
(Sumber: Travel + Leisure/Melanie Lieberman, 2018)

8. *Airfoil* Ideal

Dalam menentukan sebuah *airfoil* ideal, sifat-sifat yang harus dimiliki adalah sebagai berikut.

a. Koefisien gaya angkat (C_L) maksimum tinggi, memungkinkan pesawat udara dapat terbang dengan kecepatan rendah. Kecepatan rendah dengan gaya angkat tinggi sangat dibutuhkan pada proses pendaratan.

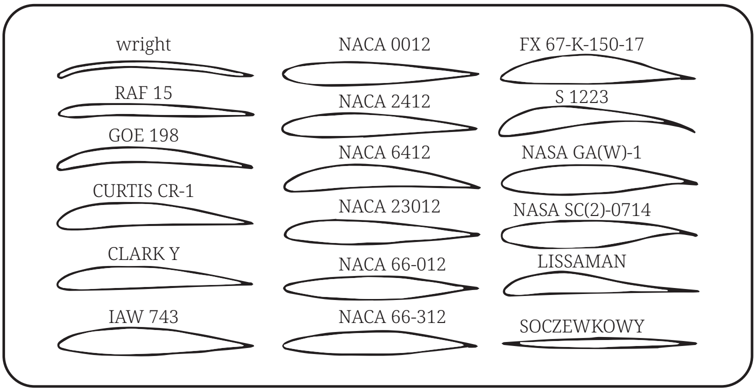
b. Koefisien hambat (C_D) minimum rendah, memungkinkan pesawat udara dapat terbang dengan kecepatan tinggi. C_D minimum yang rendah dapat terjadi pada daerah sudut serang yang panjang.

c. Nilai *L/D* baik, memungkinkan pesawat udara mampu membawa muatan lebih banyak dengan konsumsi bahan bakar rendah.

d. Daerah perpindahan titik tekan pendek akan menambah kestabilan pesawat udara.

9. Penomoran *Airfoil*

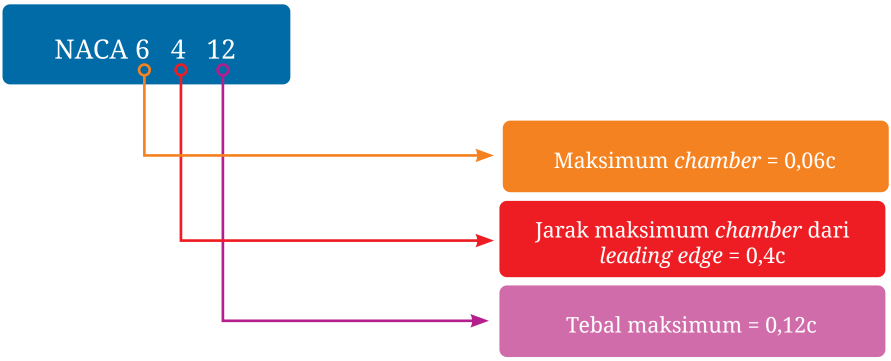
Untuk menunjukkan bentuk dan macam *airfoil* digunakan sistem penomoran *airfoil* yang merujuk pada *National Advisory Committee for Aeronatics* (NACA). *Airfoil* yang dikeluarkan NACA terdiri atas nomor seri berupa angka-angka, umumnya berupa empat atau lima digit angka di belakang NACA.



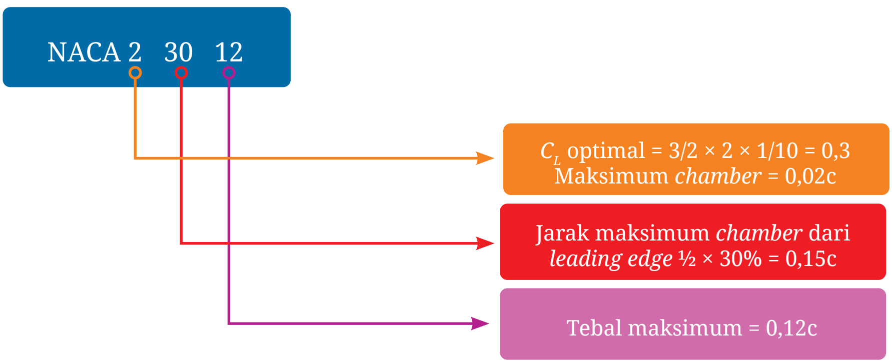
Gambar 4.15 Contoh penomoran airfoil
(Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 1, 2018)

Pada *airfoil* NACA seri empat, digit pertama menunjukkan persen maksimum *chamber* terhadap *chord*. Digit kedua menunjukkan persepuluh posisi maksimum *chamber* pada *chord* dari *leading edge*. Sedangkan dua digit terakhir menunjukkan persen ketebalan *airfoil* terhadap *chord*.

Perhatikan contoh NACA 6412 beserta arti dari digit angka yang diberikan! *Airfoil* NACA 6412 memiliki maksimum *chamber* 0,06 terletak pada 0,4c dari *leading edge* dan memiliki ketebalan maksimum 12% *chord* atau 0,12c. Contoh lain, *Airfoil* yang tidak memiliki kelengkungan, di mana *chamber line* dan *chord* berimpit disebut *airfoil* simetris, yaitu NACA 0012 dengan ketebalan maksimum 0,12c.

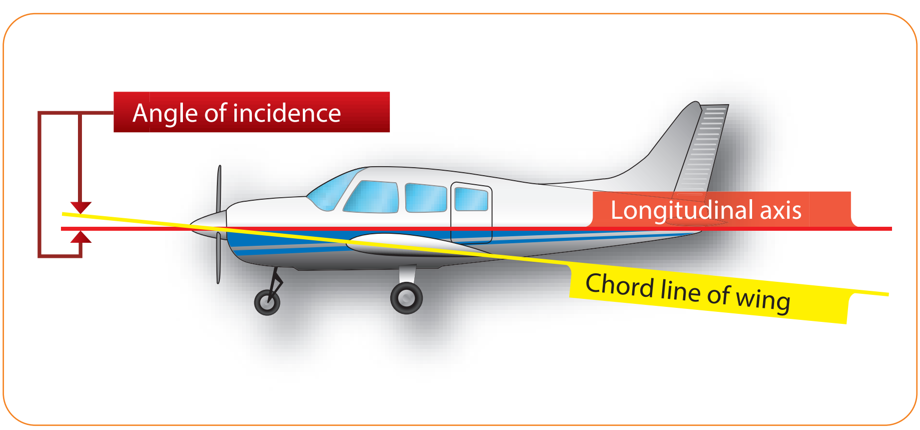


Pada *airfoil* NACA seri lima, digit pertama menunjukkan dua per tiga koefisien gaya angkat yang direncanakan, yaitu C_L pada sudut optimal dan dinyatakan dalam persepuluh, selain itu digit pertama ini menunjukkan persen maksimum *chamber* terhadap *chord*. Digit kedua dan ketiga menunjukkan dua kali jarak maksimum *chamber* dari *leading edge* dan dinyatakan dalam persen kali panjang tali busur (*chord*). Sedangkan dua digit terakhir menunjukkan persen ketebalan *airfoil* terhadap *chord*. Perhatikan contoh NACA 23012 berikut arti dari digit angka yang diberikan.



10. Sudut Pemasangan

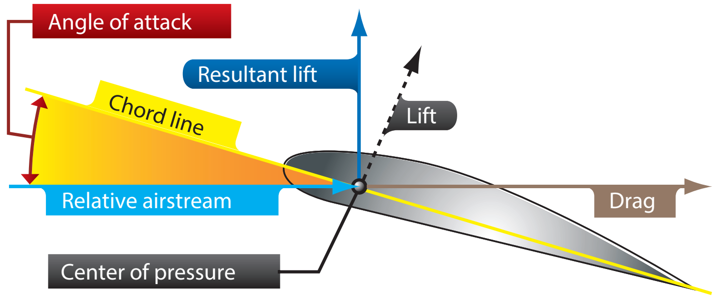
Sudut lancip yang dibentuk antara *wing chord* dengan sumbu longitudinal disebut sudut pemasangan (*angle of incidence*). *Angle of incidence* umumnya dipasang tetap dan merupakan sudut bawaan. Ketika tepi depan sayap (*leading edge*) lebih tinggi dari tepi belakang (*trailing edge*), *angle of incidence* dikatakan positif. *Angle of incidence* negatif apabila tepi depan lebih rendah dari tepi belakang sayap.



Gambar 4.16 Sudut pemasangan
(Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 1, 2018)

11. Sudut Serang

Sebelum memulai pembahasan tentang sudut serang (*angle of attack*) dan pengaruhnya terhadap *airfoil*, ada baiknya kalian memahami istilah *chord* dan pusat tekanan (*center of pressure*) seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut.



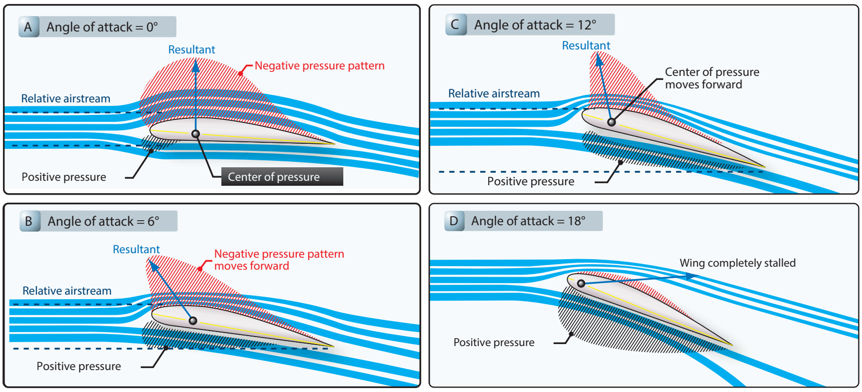
Gambar 4.17 Aliran udara di sayap

(Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 1, 2018)

Chord dari bagian *airfoil* adalah garis lurus khayal yang melewati bagian dari *leading edge* ke *trailing edge*. *Chord line* menyediakan satu sisi sudut yang akhirnya membentuk sudut serang. Sisi sudut lainnya dibentuk oleh sebuah garis yang menunjukkan arah aliran udara (*relative wind*). Jadi, sudut serang didefinisikan sebagai sudut yang dibentuk antara *chord line* sayap dan arah aliran udara. Nah, jangan tertukar dengan sudut pemasangan (*angle of incidence*), yakni sudut yang dibentuk antara *chord line* sayap dengan sumbu longitudinal pesawat.

Pada setiap bagian dari sebuah *airfoil* atau permukaan sayap, terdapat gaya kecil yang timbul. Gaya ini memiliki besaran dan arah yang berbeda dari gaya lainnya yang bekerja pada bagian depan dan belakang dari titik ini. Besaran itu disebut gaya angkat resultan (*resultant of lift*). Gaya resultan ini memiliki besaran, arah, dan lokasi serta dapat dinyatakan sebagai suatu vektor, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.17.

Titik perpotongan garis gaya resultan dengan *chord line* dari *airfoil* disebut pusat tekanan (*center of pressure*, CoP). CoP bergerak di sepanjang *chord airfoil* akibat perubahan sudut serang. Pada sebagian besar rentang penerbangan, CoP yang bergerak maju akan meningkatkan sudut serang, sedangkan bila bergerak ke belakang mengakibatkan sudut serang menurun. Pengaruh peningkatan sudut serang pada pusat tekanan ditunjukkan pada Gambar 4.18.



Gambar 4.18 Pengaruh peningkatan sudut serang
(Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 1, 2018)

Sudut serang ini akan berubah seiring dengan perubahan sikap pesawat. Karena sudut serang berkaitan erat dengan penentuan gaya angkat, inilah yang menjadikan pertimbangan utama saat mendesain *airfoil*. *Airfoil* yang dirancang dengan benar menyebabkan gaya angkat meningkat seiring dengan bertambahnya sudut serang.

Saat sudut serang dinaikkan secara bertahap menuju sudut serang positif, komponen gaya angkat meningkat pesat hingga titik tertentu dan kemudian tiba-tiba mulai menurun. Selama aksi ini, komponen gaya hambat (*drag*) meningkat perlahan lalu dengan cepat gaya angkat mulai menurun.

Ketika sudut serang meningkat ke sudut gaya angkat maksimum (*angle of maximum lift*) maka titik pusaran (*burble*) tercapai. Ini dikenal dengan sudut kritis (*critical angle*). Ketika sudut kritis dicapai, udara berhenti mengalir mulus pada permukaan atas *airfoil* dan mulai terjadi pusaran (*burble*). Ini berarti udara terlepas dari garis *chamber* atas sayap, yang sebelumnya daerah itu tekanannya berkurang, sekarang diisi oleh udara yang berpusar (*burble*). Jika ini terjadi, jumlah gaya angkat menurun dan gaya hambat menjadi berlebihan. Akibatnya, gaya gravitasi membuat hidung pesawat jatuh atau disebut kehilangan gaya angkat (*stall*). Jadi, titik *burble* adalah sudut kehilangan gaya angkat (*stalling angle*).

Seperti terlihat pada Gambar 4.18, distribusi tekanan yang bekerja di sisi atas *airfoil* tentunya akan bervariasi seiring dengan perubahan sudut serang. Hasil gaya resultan atau pusat tekanan (CoP) bervariasi sesuai dengan perubahan sudut serang. Saat sudut serang meningkat, CoP bergerak maju, demikian pula saat sudut serang berkurang maka CoP bergerak mundur. Pergerakan CoP yang tidak stabil ini merupakan karakteristik dari hampir semua *airfoil*.

C. *Theory of Flight*

1. Aerodinamika dan Hukum Fisika

Salah satu bagian yang saling berkaitan antara aerodinamika dengan hukum-hukum fisika adalah gerak suatu benda. Gerak adalah tindakan atau proses mengubah tempat atau posisi. Sebuah objek mungkin sedang bergerak terhadap satu objek dan tidak bergerak terhadap objek lainnya.

Pada saat diam, udara tidak memiliki gaya atau kekuatan, kecuali tekanan. Namun, saat bergerak, kekuatannya menjadi tampak. Sebuah benda bergerak di udara yang tidak bergerak memiliki gaya yang diberikan kepadanya sebagai akibat dari gerakannya sendiri. Maka kemudian, dampaknya akan sama saja, apakah suatu benda bergerak terhadap udara ataukah udara yang sedang bergerak terhadap benda tersebut. Terjadinya aliran udara di sekitar suatu benda bisa disebabkan oleh pergerakan udara atau benda tersebut, atau keduanya.

2. Hukum Newton

Hukum Newton merupakan hukum fisika yang banyak diaplikasikan dalam pesawat udara. Ilmu aerodinamika menggunakan perhitungan matematika untuk menjelaskan fenomena-fenomena yang terjadi, di mana terdapat tiga hukum fisika utama yang berlaku. Mari kita membahasnya.

Ada tiga hukum Newton yang dapat diterapkan dalam pesawat udara. **Hukum pertama Newton** dikenal juga sebagai hukum kelembaman, menyatakan bahwa benda akan diam dan tidak bergerak, kecuali ada gaya yang bekerja pada benda tersebut. Jika benda bergerak dengan kecepatan tetap dalam suatu garis lurus, gaya harus diterapkan untuk menambah atau mengurangi kecepatan.

Menurut hukum Newton, karena udara memiliki massa maka udara bisa dikatakan sebuah benda. Ketika pesawat sedang berada di darat dengan kondisi mesin mati, gaya inersia menjaga pesawat dalam keadaan tetap diam. Ketika pesawat udara terbang dengan kecepatan tetap dalam garis lurus, gaya inersia cenderung menjaga pesawat agar tetap bergerak. Kadang-kadang, ada kekuatan gaya luar yang dapat mengubah arah pesawat dari jalur penerbangannya.

Hukum kedua Newton menyatakan jika suatu benda bergerak mula-mula dengan kecepatan tetap, kemudian ada gaya luar yang bekerja pada

benda tersebut, maka terjadi perubahan gerak sebanding dengan jumlah gaya dan gerak terjadi ke arah di mana gaya tersebut bekerja. Hukum ini dapat dinyatakan dengan rumus berikut.

Gaya (*F*) = massa (*m*) × percepatan (*a*)

Jika pesawat terbang berlawanan dengan arah aliran udara maka pesawat mengalami perlambatan. Jika aliran udara datang dari depan menuju kedua sisi sayap pesawat maka penerbang harus dapat mengambil tindakan untuk mengoreksi kecepatan aliran udara tersebut.

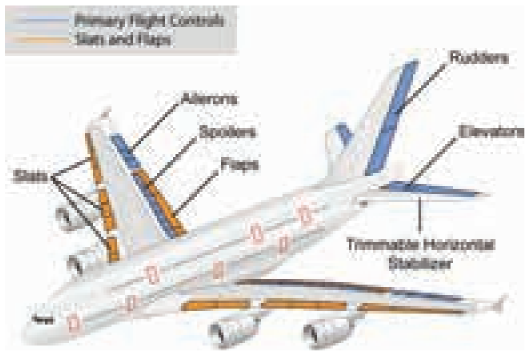
Hukum ketiga Newton adalah hukum aksi dan reaksi. Hukum ketiga Newton ini menyatakan bahwa setiap aksi atau gaya yang ada akan memunculkan reaksi berlawanan yang sama besar. Hukum ketiga Newton ini dapat diilustrasikan dengan contoh orang yang menembakkan senjata. Aksinya adalah gerak peluru ke depan, sedangkan reaksinya adalah gerak mundur dari pistol tersebut. Tiga hukum gerak dari Newton tersebut dapat diaplikasikan dalam teori penerbangan. Dalam banyak kasus di dunia penerbangan, ketiga hukum tersebut dapat bekerja pada waktu bersamaan.



Gambar 4.19 Penggambaran ketiga hukum Newton
(Sumber: orientbell.com, 2019)

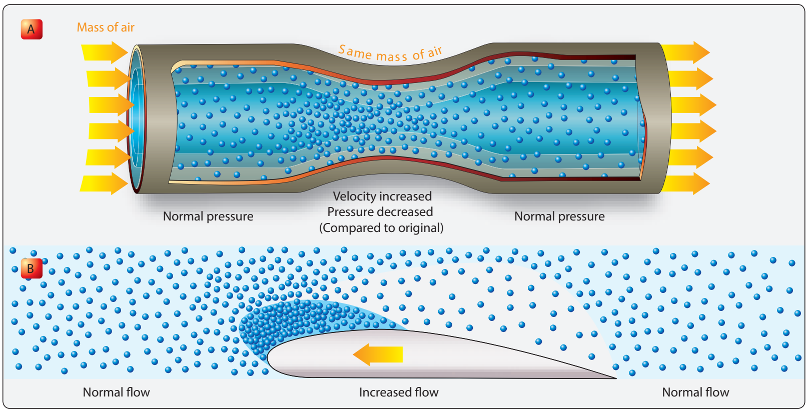
3. Hukum Bernoulli

Coba perhatikan sayap pesawat udara ketika akan terbang (Gambar 4.20)? Penerbang akan melakukan perubahan pada sayap, terutama pada *wing flap*, *slat*, dan *aileron*. Ini dilakukan supaya aliran udara bagian atas, kecepatannya menjadi tinggi, sedangkan tekanannya menjadi rendah. Sementara kecepatan aliran udara pada bagian bawah sayap menjadi rendah, sedangkan tekanannya menjadi tinggi. Adanya perbedaan tekanan udara di bagian atas dan bawah pada sayap mengakibatkan pesawat udara naik dan terbang. Pesawat udara tersebut bisa terbang karena menerapkan prinsip Bernoulli.



Gambar 4.20 Bagian-bagian sayap pesawat udara
(Sumber: quora.com/Tommy Pamula, 2020)

Prinsip Bernoulli menyatakan bahwa ketika suatu fluida udara mengalir melalui tabung dengan suatu bagian penyempitan, maka kecepatan fluida yang mengalir di penyempitan itu akan meningkat, dan tekanannya menurun. Begitu juga permukaan *airfoil* pada sayap yang melengkung akan memengaruhi laju aliran udara.



Gambar 4.21 Prinsip Bernoulli
(Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 1, 2018)

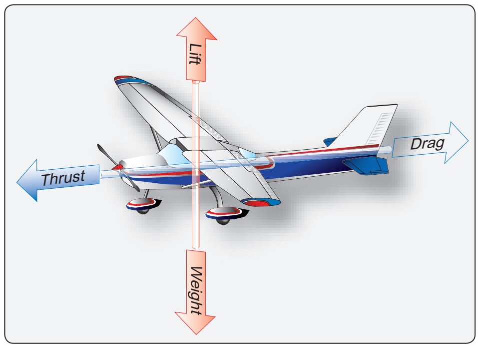
4. Hubungan Berat, Gaya Angkat, Gaya Dorong, dan Gaya Hambat

Gravitasi adalah gaya tarik yang cenderung menarik semua benda-benda dalam medan gravitasi bumi ke pusat bumi. Pusat gravitasi (*center of gravity*, CoG) dipahami sebagai titik di mana semua berat pesawat terkonsentrasi. Pesawat pada CoG yang tepat akan memberikan keseimbangan pesawat di posisi apa pun. CoG sangat penting di pesawat terbang karena posisinya memiliki pengaruh yang besar terhadap stabilitas penerbangan.

CoG ditentukan saat merancang pesawat. Para perancang akan memperkirakan sejauh mana pusat tekanan (CoP) bergerak. Mereka kemudian memperbaiki CoG di depan CoP untuk kecepatan penerbangan yang sesuai dengan tujuan memberikan momen pemulihan yang memadai dalam mendapatkan keseimbangan penerbangan.

Pesawat udara dalam proses penerbangan yang sebenarnya adalah pusat dari semua gaya-gaya yang bekerja padanya. Pertemuan dari kerja gaya-gaya tersebut adalah kunci dari semua unjuk kerja yang dilakukan di udara. Di udara tidak ada yang misterius tentang kekuatan gaya-gaya ini, semua dapat didefinisikan dan diketahui. Aksi gaya-gaya ini dapat dihitung dan pesawat udara itu sendiri dirancang untuk memanfaatkan masing-masing kerja gaya tersebut. Untuk semua kategori penerbangan, perhitungan penerbangan didasari pada besar dan arah empat gaya, yaitu gaya berat, gaya angkat, gaya hambat, dan gaya dorong.

Berat memiliki hubungan dengan gaya angkat, sedangkan gaya dorong berhubungan dengan gaya hambat. Hubungan ini digambarkan secara sederhana, tetapi sangat penting dalam memahami aerodinamika dalam penerbangan. Seperti diketahui, gaya angkat adalah gaya ke atas pada sayap tegak lurus dengan aliran udara. Gaya angkat diperlukan untuk mengatasi berat pesawat yang disebabkan oleh gaya gravitasi yang bekerja pada massa pesawat udara. Gaya berat ini bekerja ke bawah melalui suatu titik yang disebut pusat gravitasi, yaitu titik di mana semua berat terkonsentrasi. Ketika gaya angkat berada dalam kesetimbangan dengan gaya berat, pesawat tidak naik atau turun dari ketinggian. Jika gaya angkat menjadi kurang dari gaya berat, pesawat akan kehilangan ketinggian. Saat gaya angkat lebih besar dari beratnya, pesawat menambah ketinggian.

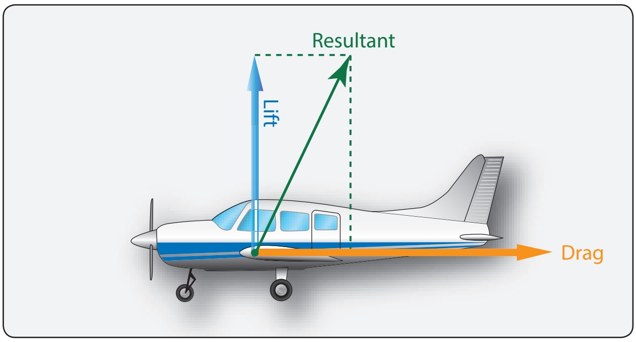


Gambar 4.22 Gaya-gaya yang bekerja selama penerbangan
(Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 1, 2018)

Sebuah pesawat udara dalam penerbangannya dapat diuraikan dalam empat kekuatan gaya, yaitu:

a. **Gaya gravitasi atau berat** (*weight*) adalah gaya yang menarik pesawat menuju bumi. Berat adalah gaya gravitasi yang bekerja ke bawah terhadap segala sesuatu yang masuk ke dalam pesawat, seperti pesawat itu sendiri, kru, penumpang, bahan bakar, dan kargo.
b. **Gaya angkat** (*lift*) adalah gaya yang mengangkat pesawat ke atas. Gaya angkat bekerja secara vertikal dan melawan efek berat.
c. **Gaya dorong** (*thrust*) adalah gaya yang menggerakkan pesawat ke depan. Gaya dorong dihasilkan oleh motor (*powerplant*) yang mengatasi gaya hambat.
d. **Gaya hambat** (*drag*) adalah gaya yang menghambat pergerakan pesawat. Dengan kata lain, *drag* adalah gaya mundur yang disebabkan oleh aliran udara pada sayap, badan pesawat, dan bagian benda-benda yang menonjol.

Keempat gaya tersebut akan berada dalam keseimbangan sempurna ketika pesawat berada dalam penerbangan lurus dan mendatar tanpa akselerasi. Gaya angkat dan gaya hambat adalah akibat langsung dari hubungan antara aliran-aliran udara (*relative wind*) dan pesawat udara. Gaya angkat selalu bekerja tegak lurus terhadap aliran udara, dan gaya hambat selalu bekerja sejajar dan sama arah dengan aliran udara yang menghasilkan gaya angkat resultan pada sayap.



Gambar 4.23 Gaya angkat, gaya hambat, dan resultan gaya
(Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 1, 2018)

5. *Glide Ratio*

Glide ratio adalah jarak pesawat udara dengan kondisi *engine* mati bergerak maju dalam kaitannya dengan ketinggian yang hilang. Misalnya, jika sebuah pesawat udara terbang pada ketinggian 10.000 kaki kemudian turun ke 1.000 kaki, maka *glide ratio* dapat dikatakan 10 banding 1.

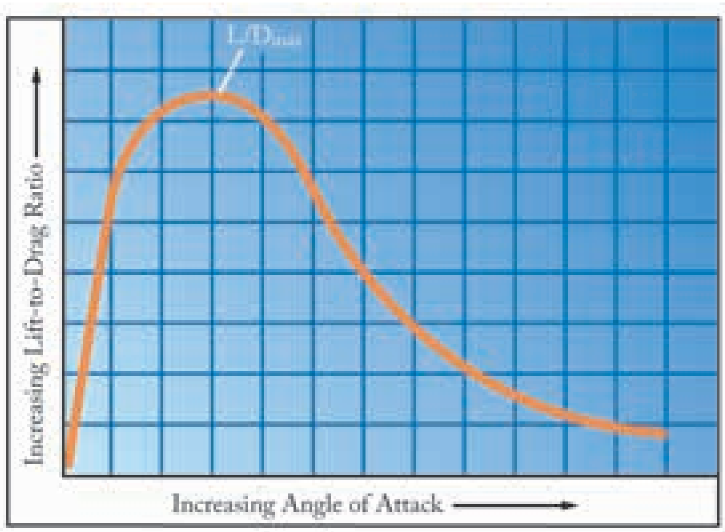
Glide ratio dipengaruhi oleh empat faktor yang bekerja pada sebuah pesawat udara, yakni berat, gaya angkat, gaya dorong, dan gaya hambat. Jika semua faktor itu konstan, *glide ratio* akan konstan. Pengaruh angin pada proses meluncur ini sangat menonjol pada *range* luncur pesawat terkait dengan pergerakannya di atas permukaan tanah. Dengan *tail wind*, pesawat akan meluncur lebih jauh karena kecepatan gerak yang lebih tinggi. Sebaliknya, dengan *head wind* pesawat tidak akan meluncur jauh, karena *ground speed* melambat. Variasi berat tidak akan memengaruhi sudut luncur asalkan penerbang menggunakan kecepatan udara yang benar, karena rasio *L/D* yang menentukan jarak luncuran pesawat, bukan bobot pesawat.

Glide ratio didasarkan pada hubungan gaya-gaya aerodinamis yang bekerja pada pesawat. Satu-satunya pengaruh yang dimiliki adalah bobot pesawat saat meluncur. Semakin berat pesawat, semakin tinggi *airspeed* untuk mendapatkan rasio luncur yang sama. Misalnya, jika dua pesawat memiliki rasio *L/D* yang sama, tetapi bobotnya berbeda, memulai luncuran dari ketinggian yang sama, pesawat yang lebih berat meluncur dengan *airspeed* yang lebih tinggi akan tiba di titik *touchdown* yang sama dalam waktu yang lebih singkat. Kedua pesawat akan menempuh jarak sama, tetapi pesawat yang lebih ringan akan membutuhkan waktu lebih lama.

Dalam berbagai kondisi penerbangan, faktor hambatan dapat berubah melalui pengoperasian roda pendarat dan/atau *flaps*. Saat roda pendarat atau

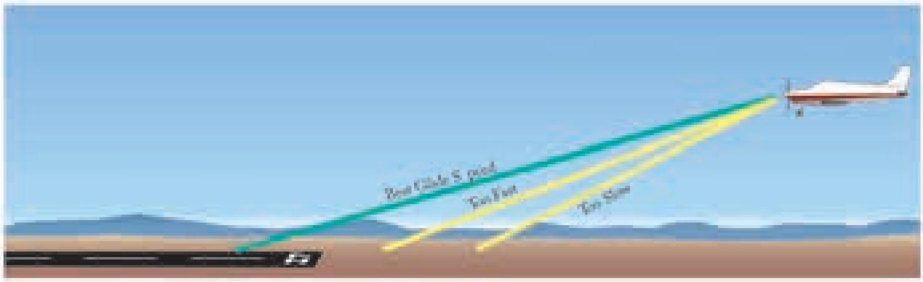
flaps diperpanjang, gaya hambat meningkat dan *airspeed* akan berkurang, kecuali sikap *pitch* diturunkan. Saat *pitch* diturunkan, *glidepath* semakin curam dan mengurangi jarak yang ditempuh. Dengan daya dimatikan, putaran *propeller* juga menciptakan gaya hambat, sehingga memperlambat pergerakan pesawat ke depan.

Meskipun gaya dorong *propeller* bergantung pada *output* daya mesin, *throttle* berada dalam posisi tertutup selama meluncur sehingga daya dorongnya konstan, karena daya tidak digunakan selama *gliding* atau *power-off approach*. Sikap *pitch* harus disesuaikan seperlunya untuk mempertahankan *airspeed* yang konstan. Kecepatan luncuran terbaik adalah saat pesawat akan menempuh jarak paling jauh ke depan dengan kehilangan ketinggian tertentu di udara. Kecepatan luncur terbaik ini sesuai dengan sudut serang yang menghasilkan gaya dorong paling sedikit pada pesawat dan memberikan rasio *L/D max* terbaik.



Gambar 4.24 *L/D maximal*
(Sumber: EASA Module 08 Basic Aerodinamics, 2014)

Setiap perubahan kecepatan luncur akan menyebabkan perubahan proporsional rasio luncur. Kecepatan apa pun, selain kecepatan meluncur terbaik, menghasilkan lebih banyak gaya hambat. Oleh karena itu, rasio luncur juga berubah. Saat turun dengan kecepatan di bawah kecepatan meluncur terbaik, *induced drag* meningkat. Saat turun dengan kecepatan di atas kecepatan luncur terbaik, *parasite drag* meningkat. Dalam kedua kasus tersebut, laju penurunan akan meningkat.



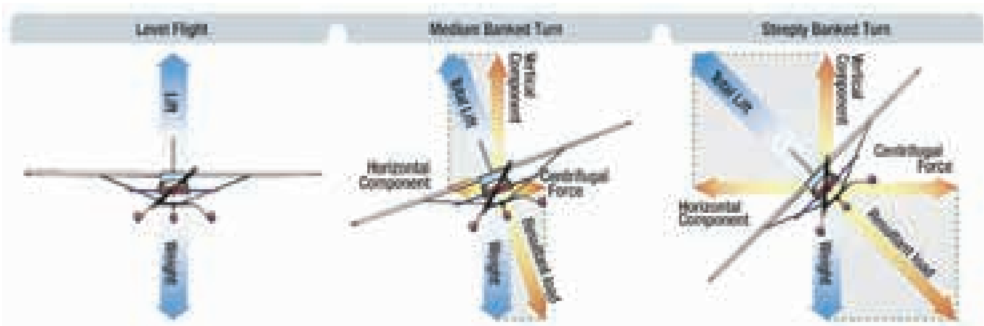
Gambar 4.25 Kecepatan luncur terbaik
(Sumber: EASA Module 08 Basic Aerodinamics, 2014)

Penerbang tidak disarankan mencoba apa yang diistilahkan dengan "*stretch*", yakni sebuah luncuran yang menerapkan tekanan *back-elevator*, di mana hal tersebut dapat mengurangi *airspeed* yang direkomendasikan.

6. Gaya Aerodinamis Saat Berbelok

Pernahkah kalian memerhatikan dengan cara apa pesawat udara berbelok atau terbang miring? Adakah alat bantu khusus yang digunakan untuk tindakan tersebut?

Jika sebuah pesawat udara dipandang dari depan dalam kondisi penerbangan lurus dan mendatar maka gaya angkat bekerja berlawanan dengan gaya berat. Namun, jika gaya angkat (*lift*) tidak bekerja berlawanan langsung dengan gaya berat, maka bisa dikatakan pesawat sedang dalam posisi miring (*bank*). Ketika pesawat udara miring, gaya angkat bereaksi ke dalam menuju pusat belokan dan juga ke atas.



Gambar 4.26 Gaya-gaya yang bekerja dalam kondisi normal dan saat belok
(Sumber: EASA Module 08 Basic Aerodinamics, 2014)

Ada tiga kondisi pesawat udara dalam proses berbelok, yaitu *normal turn, slipping, dan skidding*.

Dalam belokan normal, gaya ini dihasilkan dengan memiringkan pesawat sehingga gaya angkat timbul ke dalam dan juga ke atas. Gaya angkat saat belok dipisah menjadi dua komponen membentuk sudut siku-siku satu sama lain. Satu komponen yang bekerja secara vertikal dan berlawanan dengan gaya berat (gravitasi) disebut komponen gaya angkat vertikal. Komponen yang bekerja secara horizontal menuju pusat belokan disebut komponen gaya angkat horizontal atau gaya sentripetal. Komponen gaya angkat horizontal adalah gaya yang menarik pesawat dari jalur penerbangan lurus untuk membuatnya berbelok.

Gaya sentrifugal adalah reaksi yang sama dan berlawanan dari pesawat terhadap perubahan arah dan bertindak sama dan berlawanan dengan komponen gaya angkat horizontal. Ini menjelaskan mengapa dalam belokan yang dilakukan dengan benar, gaya yang membelokkan pesawat bukan disuplai oleh *rudder*. *Rudder* digunakan untuk mengoreksi penyimpangan antara lintasan lurus hidung dan ekor pesawat.

Belokan yang baik adalah ketika hidung dan ekor pesawat udara mengikuti jalur yang sama. Jika tidak ada *rudder* yang digunakan saat berbelok, hidung pesawat melenceng (*yaw*) keluar dari belokan. *Rudder* digunakan untuk membawa hidung kembali sejajar dengan aliran udara. Agar pesawat bisa berbelok, maka pesawat harus dalam posisi miring. Jika tidak miring, tidak ada kekuatan yang dapat menyebabkannya menyimpang dari jalur penerbangan lurus. Sebaliknya, saat pesawat udara dimiringkan, ia akan berbelok, asalkan tidak tergelincir dalam belokannya.

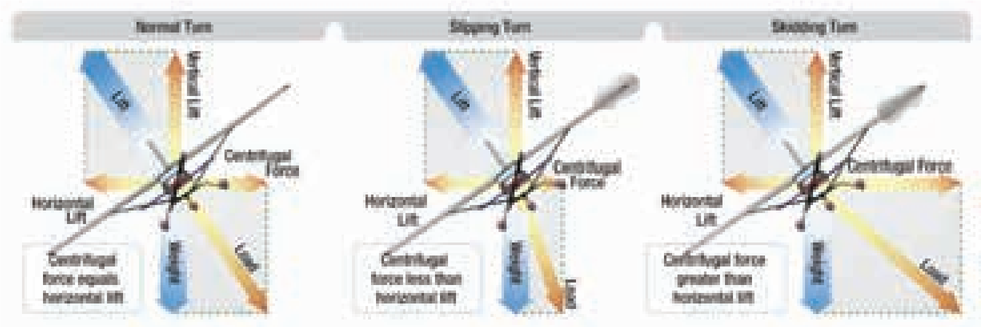
Pesawat berbelok tidak akan mengubah gaya angkat, karena gaya angkat selama belok dibagi menjadi komponen vertikal dan horizontal, namun jumlah gaya angkat yang melawan gravitasi dan menopang berat pesawat berkurang. Akibatnya, pesawat kehilangan ketinggian, kecuali jika dibuatkan gaya angkat tambahan. Hal ini dapat dilakukan dengan menaikkan sudut serang sampai komponen gaya angkat vertikal kembali sama dengan gaya beratnya. Karena komponen gaya angkat vertikal berkurang dengan bertambahnya sudut kemiringan, sudut serang harus ditingkatkan secara progresif untuk menghasilkan gaya angkat vertikal yang cukup untuk menopang berat pesawat.

Pada *airspeed* tertentu, kecepatan pesawat berbelok bergantung pada besarnya komponen gaya angkat horizontal. Diketahui bahwa komponen gaya angkat horizontal sebanding dengan sudut kemiringan (*angle of bank*), yaitu naik atau turun masing-masing seiring dengan naik atau turunnya

sudut kemiringan. Saat sudut kemiringan dinaikkan maka komponen gaya angkat horizontal meningkat, sehingga meningkatkan *rate of turn* (RoT). Akibatnya, pada *airspeed* tertentu, RoT dapat dikontrol dengan menyesuaikan sudut kemiringan.

Pada kondisi *slipping turn*, pesawat tidak berbelok pada kecepatan yang sesuai dengan kemiringan yang digunakan, karena pesawat berbelok keluar dari jalur belokan. Pesawat terlalu banyak membelok untuk RoT, sehingga komponen gaya angkat horizontal lebih besar dibandingkan gaya sentrifugal. Pada Gambar 4.27, keseimbangan antara komponen gaya angkat horizontal dan gaya sentrifugal dibangun kembali dengan menurunkan kemiringan, meningkatkan RoT, atau kombinasi dari keduanya.

Sementara untuk kondisi *skidding*, pesawat melakukan belokan diakibatkan karena gaya sentrifugal lebih besar dari gaya angkat horizontal. Akibatnya, pesawat tergelincir dari lintasan normalnya ke arah bagian dalam. Koreksi pada belokan *skidding* melibatkan pengurangan RoT, peningkatan belokan, atau kombinasi dari keduanya. Untuk mempertahankan RoT tertentu, sudut kemiringan harus disesuaikan dengan *airspeed*. Ini menjadi sangat penting dalam pesawat berkecepatan tinggi.



Gambar 4.27 Gaya-gaya yang bekerja saat pesawat berbelok normal, *slipping*, dan *skidding*
(Sumber: EASA Module 08 Basic Aerodinamics, 2014)

D. *Stall*

Kalian pernah mendengar peristiwa pesawat udara jatuh? Mengapa pesawat udara jatuh? Apa itu *stall*?

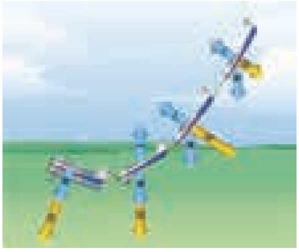
Pesawat mengalami *stall* akibat penurunan gaya angkat yang cepat yang disebabkan oleh pemisahan aliran udara dari permukaan sayap akibat melebihi sudut serang. *Stall* dapat terjadi pada setiap sikap *pitch* atau *airspeed*. *Stall* adalah salah satu area aerodinamika yang paling

disalahpahami karena penerbang sering percaya bahwa sebuah *airfoil* berhenti menghasilkan gaya angkat saat *stall*. Padahal kondisi *stall*, sayap tidak sepenuhnya berhenti menghasilkan gaya angkat, melainkan gaya angkat yang dihasilkan tidak memadai untuk mempertahankan level penerbangan.

Karena C_L meningkat dengan peningkatan sudut serang, di beberapa titik C_L mencapai puncaknya dan kemudian mulai turun. Titik puncak ini disebut C_L *max*. Jumlah gaya angkat yang dihasilkan sayap menurun drastis setelah melampaui C_L *max* atau sudut serang kritis, tetapi seperti yang dinyatakan di atas, tidak sepenuhnya berhenti menghasilkan gaya angkat. Sayap tidak pernah sepenuhnya berhenti menghasilkan gaya angkat pada kondisi *stall*. Jika terjadi, pesawat akan jatuh.

Stalling speed pesawat tertentu bukanlah nilai tetap untuk semua situasi penerbangan, tetapi pesawat tertentu selalu berhenti di sudut serang (*angle of attack*) yang sama, terlepas dari *airspeed*, berat, *load factor*, atau kerapatan udara pada ketinggian. Setiap pesawat memiliki sudut serang tertentu di mana aliran udara terpisah dari permukaan atas sayap dan terjadi *stall*. Sudut serang kritis bervariasi mulai dari 16^o hingga 20^o bergantung pada rancangan pesawat. Namun, setiap pesawat hanya memiliki satu sudut serang spesifik di mana *stall* terjadi.

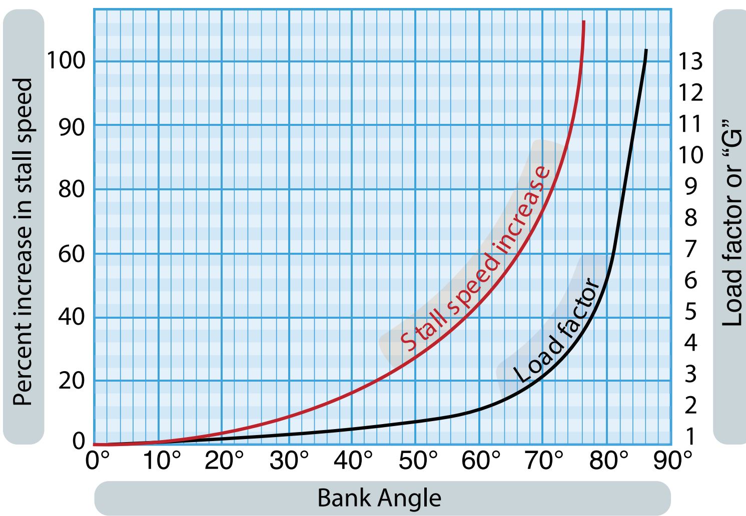
Ada tiga situasi penerbangan di mana sudut serang kritis dapat terjadi, yaitu kecepatan rendah, kecepatan tinggi, dan berbelok. Pesawat dapat terhenti dalam penerbangan lurus dan mendatar dengan terbang terlalu lambat. Saat *airspeed* menurun, sudut serang harus ditingkatkan untuk mempertahankan gaya angkat yang dibutuhkan dalam menjaga ketinggian. Semakin rendah *airspeed*, semakin banyak sudut serang yang harus ditingkatkan. Akhirnya, sudut serang tercapai yang mengakibatkan sayap tidak menghasilkan gaya angkat yang cukup untuk menopang pesawat yang mulai turun. Jika *airspeed* terus berkurang, pesawat akan berhenti, karena sudut serang telah melebihi sudut kritis dan aliran udara di atas sayap terganggu.



Gambar 4.28 Gaya yang terjadi ketika pesawat udara menukik tajam
(Sumber: EASA Module 08 Basic Aerodinamics, 2014)

Kecepatan rendah tidak diperlukan untuk menghasilkan *stall*. Sayap bisa di posisi bawah sudut serang yang berlebihan saat kecepatan berapa pun. Sebagai contoh, sebuah pesawat sedang menukik dengan *airspeed* 100 knot saat penerbang menarik kembali dengan tajam pada kendali elevator (Gambar 4.28).

Gaya gravitasi dan sentrifugal mencegah perubahan langsung/mendadak dari jalur penerbangan, tetapi sudut serang pesawat bisa berubah secara tiba-tiba dari sangat rendah menjadi sangat tinggi. Karena jalur penerbangan pesawat dalam kaitannya dengan udara yang datang menentukan arah aliran udara, maka apabila sudut serang tiba-tiba dinaikkan, pesawat akan mencapai sudut *stall* dengan kecepatan yang jauh lebih besar daripada kecepatan *stall* normal.



Gambar 4.29 Peningkatan *stall speed* dan *load factor* saat berbelok
(Sumber: EASA Module 08 Basic Aerodinamics, 2014)

1. Gaya Hambat Udara

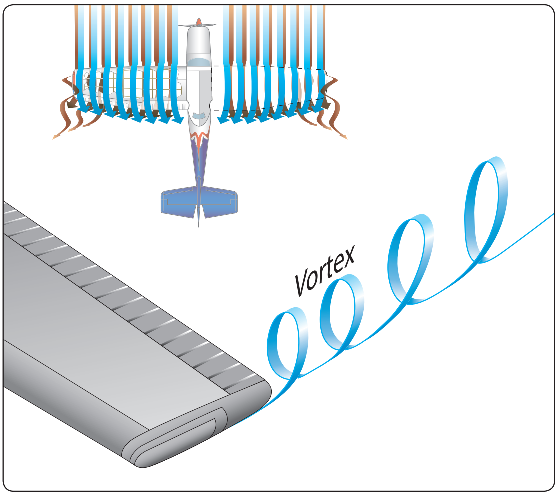
Gerak aliran udara di atas benda selain menghasilkan gaya angkat juga menghasilkan gaya hambat. Sebuah pesawat udara pada suatu kondisi level tertentu memiliki gaya angkat yang bekerja secara vertikal untuk mendukungnya naik, sementara gaya hambat yang bekerja secara horizontal menahannya. Jumlah total hambatan pada pesawat terdiri atas banyak gaya hambat, tetapi mari kita membahas tiga saja, yaitu *parasite drag*, *profil drag*, dan *induced drag*.

Parasite drag terdiri atas kombinasi banyak hal berlawanan untuk gaya dorongnya. Setiap benda yang terbuka di pesawat menawarkan sejumlah hambatan terhadap udara, dan semakin banyak objek pada aliran udara, *parasite drag* yang dihasilkan menjadi lebih banyak. Untuk menguranginya bisa dengan mengurangi jumlah bagian yang terbuka dan merampingkan bentuknya. Gesekan permukaan (*skin friction*) adalah jenis *parasite drag* yang paling sulit dikurangi.

Tidak ada permukaan yang sangat halus. Bahkan, permukaan *engine* pun terlihat tidak rata saat diinspeksi dengan menggunakan kaca pembesar. Permukaan yang tidak rata ini membelokkan udara di dekat permukaan yang menyebabkan hambatan terhadap aliran udara yang halus. Gesekan permukaan bisa dikurangi dengan cara menghilangkan kepala *rivet* yang menonjol, menghaluskannya, dan menyembunyikan/meratakan yang lainnya.

Profil drag dapat dinyatakan sebagai *parasite drag* dari *airfoil*. Berbagai komponen *parasite drag* yang memiliki sifat yang sama dapat dinyatakan sebagai *profil drag*.

Harus selalu diingat, tekanan udara di atas sayap lebih rendah dibandingkan tekanan udara di bawah sayap. Fluida, termasuk udara, selalu berpindah dari tekanan yang lebih tinggi menuju tekanan yang lebih rendah. Akibatnya, di ujung sayap (*wing tip*) terjadi perpindahan udara dari bawah sayap menuju atas. Perpindahan udara ini membentuk pusaran udara yang disebut vorteks.



Gambar 4.30 *Wing tip vortices*
(Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook -Airframe, Volume 1, 2018)

Di ujung luar sayap, kumpulan vorteks (vortices) membentuk pusaran yang berputar dengan cukup cepat sehingga mengubah arah dan kecepatan aliran udara di belakang *trailing edge* sayap menjadi membelok ke bawah, yang disebut *downwash*. *Downwash* mengubah *relative wind* ke bawah. Ingat, gaya angkat (*lift*) selalu tegak lurus terhadap *relative wind*. Saat *downwash* meningkat, vektor gaya angkat menjadi miring ke belakang, menciptakan *induced drag* (lihat gambar di bawah).



Gambar 4.31 *induced drag*
(Sumber: boldmethod.com, 2022)

Aktivitas Pembelajaran

1. Tontonlah video tentang aerodinamika di kanal YouTube dengan memindai *QR-code* di samping. Tuliskan apa yang kalian peroleh dari video tersebut!

https://www.youtube.com/watch?v=X1gEXs_gna4

2. Lakukan pengamatan di daerah pantai dan pegunungan secara berkelompok. Kemudian ukur tekanan dan suhu udara di tempat tersebut dengan barometer dan termometer. Isikan ke dalam tabel di bawah ini dan buatlah kesimpulan!

No.	Pengukuran	Daerah pantai	Daerah pegunungan
1.	Suhu		
2.	Tekanan		
3.	Kesimpulan		

3. Perhatikan kembali Tabel 4.2 *International Standard Atmosphere*. Kemukakan pendapat kalian, bagaimana hubungan antara tekanan, suhu, dan kerapatan udara pada dataran rendah (*sea level*) dengan permukaan yang lebih tinggi?

4. Untuk memahami tentang gelombang kejut (*sonic boom*), kalian dapat melihatnya di kanal YouTube dengan memindai *QR-code* di samping. Coba kalian paparkan kembali bagaimana terjadinya gelombang kejut tersebut!

https://www.youtube.com/watch?v=JO4_VHM69oI

5. Perhatikan dan amati kembali Gambar 4.10! Menurut kalian seperti apa aliran udara pada masing-masing bentuk *airfoil* itu? Apakah ada perbedaannya?
6. Perhatikan kembali Gambar 4.11! Coba kalian jelaskan dan simpulkan maksud dari kurva warna merah (C_L), kuning (C_D), dan hijau (L/D_{max})!
7. Untuk memahami tentang *laminar* dan *turbulent flow*, kalian dapat menontonnya di kanal YouTube dengan memindai *QR-code* di samping. Apa yang kalian pahami tentang *laminar* dan *turbulent flow*?

https://www.youtube.com/watch?v=9A-uUGOWR0w

8. Coba kalian amati dan jelaskan, seseorang yang duduk dengan tenang di dalam pesawat udara berkecepatan 200 km per jam. Apakah orang tersebut diam terhadap pesawat? Lantas, apakah orang dan pesawat tersebut sedang bergerak terhadap udara dan bumi?
9. Untuk lebih memahami tentang gerak suatu pesawat udara, kalian pelajari hukum Newton tentang gerak lewat video di kanal YouTube dengan memindai *QR-code* di samping. Kemudian, diskusikan dan tuangkan dalam laporan mengenai hukum Newton tersebut, apakah dapat diaplikasikan secara bersamaan?

https://www.youtube.com/watch?v=bGtyR6Ah5xQ

10. Perhatikan kembali Gambar 4.21! Kemudian amati dan simpulkan pengaruh aliran udara yang melalui bagian penyempitan dalam tabung. Apakah terjadi perubahan tekanan dan kecepatan di bagian penyempitan tersebut?
11. Sebagai bahan eksplorasi tentang *theory of flight*, kalian dapat menontonnya di kanal YouTube dengan memindai *QR-code* di samping. Kemudian, tuangkan pemaparan kalian dalam tulisan mengenai *theory of flight*!
12. Sebagai bahan eksplorasi tentang *stall*, kalian dapat menyimak video di kanal YouTube dengan memindai *QR-code* di samping. Jelaskan apa yang kalian ketahui tentang peristiwa *stall*!

https://www.youtube.com/watch?v=F077WDnB8P8&t=2s

https://www.youtube.com/watch?v=ZuGPcvC4vbw

Rangkuman

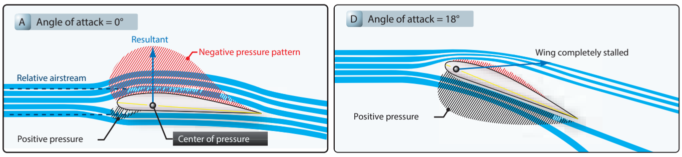
1. Aerodinamika adalah suatu cabang ilmu yang mempelajari tentang dinamika aliran udara dan gaya-gaya yang ditimbulkan akibat pergerakan atau dinamika aliran udara. Dalam dunia penerbangan, aerodinamika mencakup hubungan atmosfer, properti udara, aliran udara, dan struktur pesawat udara.
2. Atmosfer terdiri atas enam lapisan, masing-masing memiliki perbedaan suhu berdasarkan ketinggiannya. Keenam lapisan tersebut berturut-turut dari permukaan bumi, yaitu troposfer, stratosfer, mesosfer, termosfer, ionosfer, dan eksosfer.
3. Ilmu aerodinamika menggunakan perhitungan matematika untuk menjelaskan fenomena-fenomena yang terjadi dan terdapat penerapan hukum-hukum fisika utama, yaitu hukum Newton dan hukum Bernoulli.
4. *Airfoil* adalah permukaan yang dirancang untuk mendapatkan gaya angkat. Bentuk sayap pesawat tidak sama antara sisi atas dan sisi bawahnya. Bagian atas sayap sedikit menggembung, sementara bagian bawahnya agak rata. Perbedaan lengkung sisi atas dan bawah sayap menghasilkan gaya angkat.

5. Aliran udara mengalir melalui suatu benda kemudian terjadi aliran lapisan-lapisan udara yang rata dan sejajar dengan permukaan benda, dinamakan aliran udara laminar (*laminar flow*). Permukaan benda yang dilalui oleh aliran udara tidak rata dan halus serta membentuk sudut terhadap arah aliran udara, maka bentuk aliran udara akan menjadi lapisan-lapisan udara yang pecah dan berpusar (*turbulent flow*).
6. Sudut serang (*angle of attack*) didefinisikan sebagai sudut yang dibentuk antara *chord line* sayap dan arah aliran udara. Sedangkan sudut lancip yang dibentuk antara *wingchord* dengan sumbu longitudinal disebut sudut pemasangan *(angle of incidence).*
7. Pesawat udara dalam proses penerbangan merupakan pusat pertemuan gaya-gaya yang bekerja pada pesawat tersebut, yaitu gaya berat, gaya angkat, gaya hambat, dan gaya dorong.
8. *Glide ratio* adalah jarak pesawat udara dengan kondisi mesin mati bergerak maju dalam kaitannya dengan ketinggian yang hilang. *Glide ratio* dipengaruhi oleh empat faktor, yakni berat, gaya angkat, gaya dorong, dan gaya hambat. Jika semua faktor itu konstan, *glide ratio* akan konstan.
9. Ada tiga kondisi pesawat udara berbelok, yaitu *normal turn*, *slipping*, dan *skidding*.
10. Pesawat mengalami *stall* akibat penurunan gaya angkat yang cepat yang disebabkan oleh pemisahan aliran udara dari permukaan sayap akibat melebihi sudut serang. Dalam kondisi *stall*, sayap tidak sepenuhnya berhenti menghasilkan gaya angkat, melainkan gaya angkat yang dihasilkan tidak memadai untuk mempertahankan level penerbangan.

Tes Formatif

1. Bagaimana pesawat udara dapat terbang! Jelaskan!
2. Berikan contoh penerapan hukum Newton pada aktivitas penerbangan! Dapatkah ketiganya bekerja bersama-sama dalam waktu bersamaan? Jelaskan!

3. Hitunglah tekanan dan suhu saat pesawat melakukan penerbangan pada ketinggian 38.000 kaki!
4. Mengapa bentuk *airfoil* sayap lintasan permukaan atas lebih panjang dari bagian permukaan bawah?
5. Apa yang terjadi bila *thrust* = *drag* dan *lift* = *weight* ketika pesawat udara sedang melakukan penerbangan? Jelaskan!
6. Apa yang terjadi bila *thrust* lebih kecil dari *drag* dan *lift* lebih kecil dari *weight* ketika pesawat udara sedang melakukan penerbangan? Jelaskan!
7. Perhatikan gambar di bawah ini!



Apa pengaruh pada *airfoil* ketika sudut serang dinaikkan menjadi 18^{o}?

8. Bagaimana mendapatkan nilai L/D_{max}? Jelaskan!
9. Jelaskan gaya-gaya apa saja yang timbul ketika pesawat udara menukik (meluncur) dengan tajam!
10. Jelaskan perbedaan antara *normal turn*, *slipping turn*, dan *skidding turn* ketika pesawat sedang melakukan manuver berbelok!
11. Apa yang terjadi jika es terbentuk di permukaan sayap seperti gambar di bawah ini?



12. Bagaimana proses terjadinya *stall* pada pesawat udara?
13. Bagaimana terjadinya *vortex* di ujung sayap (*wing tip*)?
14. Di lapisan atmosfer mana aktivitas penerbangan banyak dilakukan?
15. Bagaimana memperoleh *best glide speed* saat mesin pesawat terbang mati?
16. Mungkinkah kecepatan pesawat udara melebihi kecepatan suara? Jelaskan!
17. Bagaimana terjadinya kondisi *sonic boom* pada pesawat udara ketika sedang melakukan penerbangan?
18. Jelaskan arti penomoran *airfoil* NACA 66012 pada gambar di bawah ini!

NACA 66-012

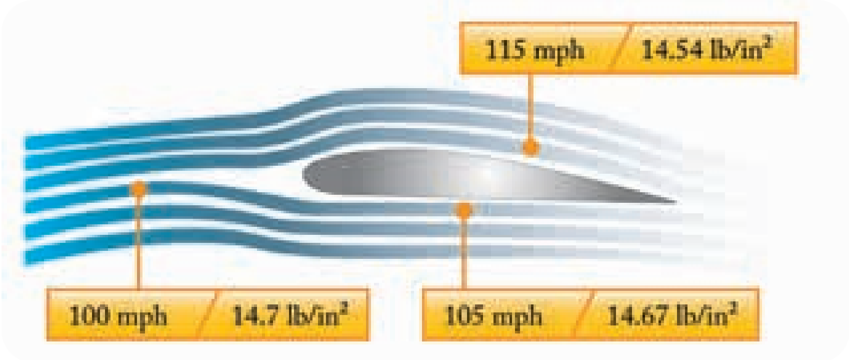


19. Jelaskan arti penomoran *airfoil* NACA 2412 pada gambar di bawah ini!

NACA 2412



20. Jelaskan aktivitas aliran udara pada gambar *airfoil* di bawah ini ditinjau dari kecepatan dan tekanan!



Refleksi

Berilah tanda centang (√) pada materi yang telah kalian pahami!

☐	Memahami lapisan atmosfer
☐	Memahami *airfoil*
☐	Memahami hukum Newton
☐	Memahami hukum Bernoulli
☐	Memahami *theory of flight*
☐	Memahami *stall*

Jika ada materi yang belum kalian pahami, tanyakan kepada guru atau diskusikan bersama teman kalian yang sudah paham.

Pengayaan

Untuk menambah wawasan kalian mengenai ruang lingkup aerodinamika, kalian bisa telusuri di berbagai situs yang ada di internet. Salah satunya, kalian bisa mengakses kanal YouTube dengan memindai *QR-code* berikut ini.

https://www.youtube.com/watch?v=AzSZIVEQA

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET, DAN TEKNOLOGI
REPUBLIK INDONESIA, 2022**

Dasar-Dasar Teknik Pesawat Udara
untuk SMK/MAK Kelas X

Penulis: Maruli Tua, Asep Gunawan
ISBN: 978-623-388-011-4 (PDF)

Bab V

Material Pesawat Udara

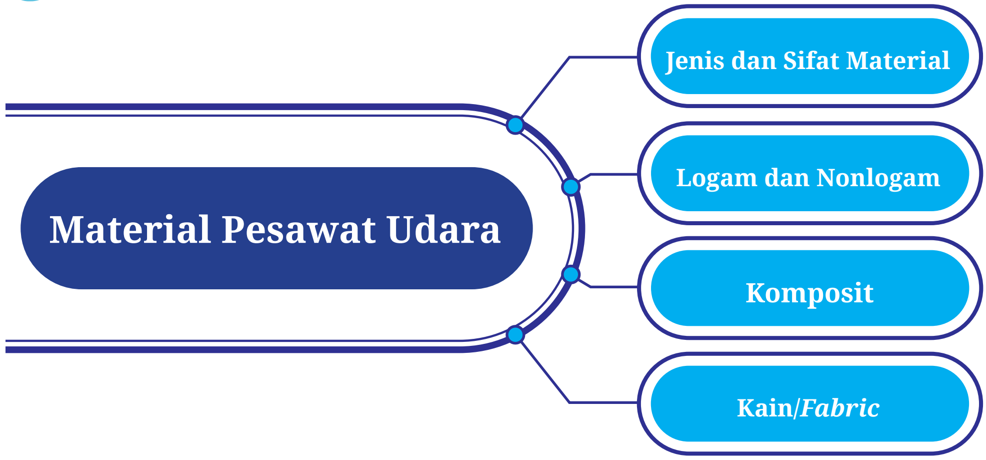


Tujuan Pembelajaran

Setelah mempelajari bab ini diharapkan kalian dapat:

1. Memahami jenis dan sifat material secara umum.
2. Memahami jenis penggunaan material pada produksi manufaktur pesawat udara.
3. Memahami jenis dan sifat material logam.
4. Memahami jenis dan sifat material nonlogam.
5. Memahami jenis dan sifat material komposit serta penggunaannya pada pesawat udara.
6. Memahami jenis dan sifat material kain/*fabric* pada pesawat udara dan penggunaannya.

Peta Konsep



Kata Kunci: *Jenis dan sifat material, logam dan nonlogam, brittleness, conductivity, elastisitas, strength, yield strength, komposit, biturat, reinforcement, matrix, mechanical properties, fabric covering, cross coat.*

Sebuah pesawat udara dirancang dengan persyaratan khusus dan sangat ketat. Persyaratan paling utama ialah pesawat harus memiliki struktur yang kuat, namun berbobot ringan. Dengan begitu, diharapkan pesawat dapat terbang dengan mudah, aman, dan mampu menahan semua gaya-gaya yang timbul dan gangguan yang ada selama operasional penerbangannya.

Penggunaan bahan sebuah produk memengaruhi mutu produk. Pengetahuan mengenai kekuatan, keuntungan, keterbatasan, dan karakteristik bahan itu turut memengaruhi hasil akhir produk tersebut. Pengetahuan tentang struktur logam (*metal structural*) sangat penting bagi teknisi pesawat agar dapat menangani atau memelihara pesawat dengan baik. Dalam perawatan dan perbaikan pesawat, sedikit saja terjadi penyimpangan dari spesifikasi desain yang ditentukan maka hasilnya bisa fatal, mengakibatkan hilangnya nyawa dan kerugian peralatan.

Dengan prinsip dasar tersebut, timbul pertanyaan bagaimana struktur sebuah pesawat udara dibuat? Dari material jenis apa sebuah pesawat udara dan mesinnya dibuat? Hal-hal apa saja yang memengaruhi kekuatan struktur tersebut? Pemahaman tentang jenis, sifat, dan unsur-unsur material yang dipakai pada pesawat dibahas dalam bab ini.

A. Jenis dan Sifat Material

Material atau bahan yang dipergunakan dalam pekerjaan perbaikan pesawat sangat bervariasi. Mengapa? Karena struktur atau *part* yang diganti atau diperbaiki juga memiliki kekuatan, berat, daya tahan, dan ketahanan yang bervariasi satu sama lain. Penting diketahui, bentuk tertentu dari *part* tertentu membutuhkan jenis material tertentu. Maka, pemilihan suatu bahan yang tepat dalam pekerjaan perbaikan menuntut teknisi untuk memahami fisik dan sifat umum berbagai jenis material (logam dan nonlogam).

Secara umum, material dibedakan atas dua kategori, yaitu material logam dan nonlogam. Namun, ada pula material paduan antara unsur logam dan nonlogam yang disebut sebagai logam paduan atau *metal alloy*. Untuk kategori logam atau *metal* terbagi lagi menjadi dua jenis, yaitu *ferrous metal* dan *non-ferrous metal*.

Untuk saat ini, material yang umum digunakan dalam berbagai produksi atau rekayasa manufaktur (*engineering manufacture*) adalah logam, keramik, polimer, dan komposit. Beberapa jenis material tersebut berkembang pesat, baik dalam komposisi maupun teknologi pengolahannya. Material ini telah banyak digunakan di berbagai jenis produksi, seperti produk rumah tangga, elektronik, kendaraan, kapal laut, pesawat udara, hingga produk persenjataan militer.

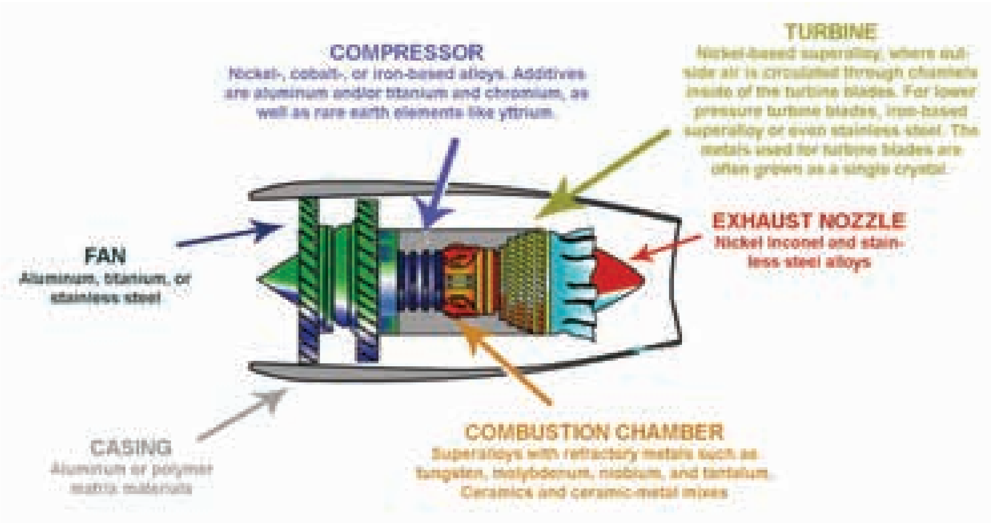
Gambar berikut adalah contoh penggunaan jenis material pada beberapa produk.



Gambar 5.1 Penggunaan jenis material pada otomotif
(Sumber: mts.com, 2021)

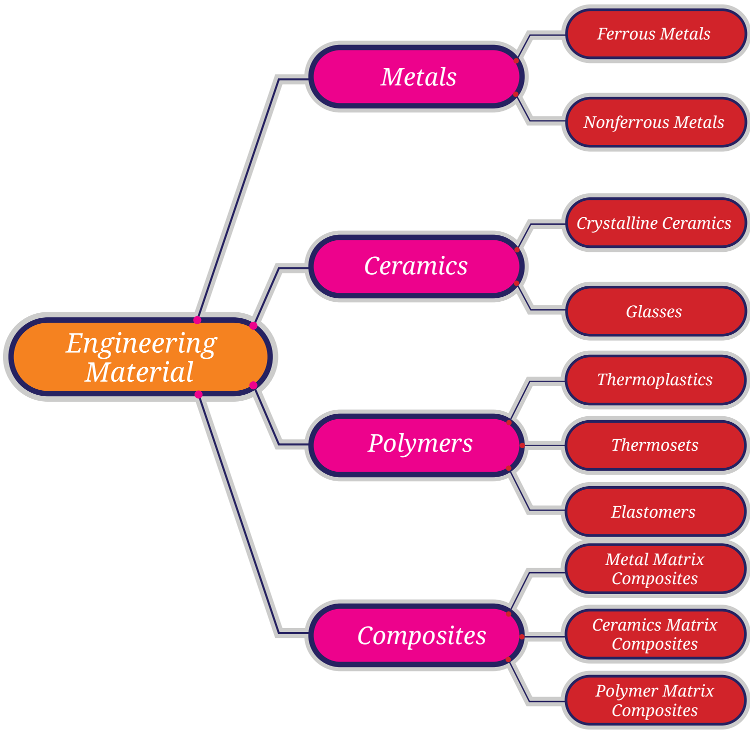


Gambar 5.2 Penggunaan jenis material pada pesawat udara
(Sumber: mts.com, 2021)



Gambar 5.3 Penggunaan jenis material pada mesin turbin gas
(Sumber: prescouter.com, 2019)

Material yang digunakan dalam *engineering* adalah logam, keramik, polimer, dan komposit. Klasifikasi dari keempat jenis material tersebut dapat dilihat pada gambar berikut ini.



Gambar 5.4 Diagram klasifikasi dan jenis material

Beberapa istilah umum yang digunakan dalam pembahasan sifat-sifat material, yaitu:

1. ***Brittleness***

   Kerapuhan (*brittleness*) ialah sifat logam yang memungkinkan sedikit terjadinya perubahan atau deformasi tanpa pecah atau putus. *Brittleness* pada logam cenderung pecah atau retak tanpa perubahan bentuk. Karena struktur pesawat udara bakal sering mengalami guncangan dan banyak menahan beban, maka sifat rapuh sangat tidak diinginkan. *Iron cast*, *aluminium cast*, dan *steel* merupakan contoh logam rapuh.

2. ***Conductivity***

   Konduktivitas (*conductivity*) ialah sifat yang memungkinkan logam untuk menghantarkan panas atau listrik. Konduktivitas panas suatu logam sangat penting dalam pengelasan karena mengatur jumlah panas yang dibutuhkan. Konduktivitas logam sampai batas tertentu sangat menentukan untuk mengontrol ekspansi dan kontraksi. Di pesawat, konduktivitas listrik harus juga dipertimbangkan, terutama terkait mengatasi gangguan radio.

3. ***Density***

Massa jenis (*density*) adalah berat satu satuan volume suatu bahan. Kepadatan merupakan pertimbangan penting saat memilih material pesawat, terkait menjaga berat dan keseimbangan pesawat udara.

4. ***Ductility***

Keuletan (*ductiliy*) adalah sifat logam yang memungkinkan secara permanen ditarik, ditekuk, atau dipuntir menjadi berbagai bentuk tanpa putus. *Ductility* ini memiliki ukuran derajat deformasi plastik yang tahan (dapat ditahan) saat patah dan hampir sama dikatakan sebagai kelenturan (*flexibility*). *Ductility* dinyatakan secara kuantitas dalam persen perpanjangan (*percent elongation*) atau persen reduksi luas penampang (*percent area reduction*). Sifat material ini cukup penting bagi sebuah logam, khususnya dalam pembuatan kawat dan pipa.

Hanya logam yang memiliki sifat *ductility* yang baik yang dipilih untuk material pesawat udara, supaya mudah dibentuk dan tahan terhadap kegagalan saat beban kejut. Untuk alasan ini, aluminium paduan (*aluminium alloy*) digunakan pada badan pesawat (*fuselage*) dan kulit sayap (*wing skin*) serta bagian lainnya, seperti *ribs*, *spar*, dan sekat (*bulkhead*). *Chrome molibdenum* baja juga mudah dibentuk sesuai keinginan.

5. ***Fusibility***

Fusibilitas (*fusibility*) ialah kemampuan logam untuk menjadi cair pada penerapan panas. Kemampuan ini diaplikasikan dalam proses pengelasan untuk menyatukan logam. *Fusibility* baja sekitar 2.600°F dan aluminium paduan sekitar 1.100°F.

6. ***Elasticity***

Elastisitas (*elasticity*) ialah sifat yang memungkinkan suatu logam kembali ke ukuran dan bentuk aslinya ketika mendapatkan gaya yang menyebabkan perubahan bentuk. Sifat ini sangat penting karena akan meniadakan bagian yang terdistorsi secara permanen, walaupun beban yang diterapkan telah dihilangkan. Setiap logam memiliki batas elastis, selama tidak melampaui batas tersebut maka material terhindar dari distorsi permanen. Konstruksi pesawat udara dirancang sedemikian rupa agar beban maksimum yang diterima tidak melebihi nilai batas elastisnya. Perhatikan Gambar 5.5.

7. ***Hardeness***

Kekerasan (*hardeness*) ialah kemampuan suatu material untuk tahan terhadap abrasi, penetrasi, pemotongan, dan distorsi. Kekerasan material dapat ditingkatkan pada logam, baja, dan aluminium paduan tertentu dengan perlakuan panas. Struktur material logam seringkali dibentuk dalam keadaan lunak kemudian dipanaskan untuk diolah, lalu dikeraskan sehingga bentuk akhir dapat dipertahankan.

8. ***Melleability***

Kelunakan (*malleability*) adalah kemampuan suatu logam untuk dapat dipalu, digulung, atau ditekan dalam berbagai bentuk tanpa mengalami keretakan, pecah, atau efek merugikan lainnya. Sifat ini diperlukan dalam lembaran logam untuk pengerjaan bentuk melengkung, seperti penutup mesin, *fairing*, dan ujung sayap. Material tembaga adalah contoh logam yang mudah dibentuk.

9. ***Strength***

Kekuatan (*strength*) adalah kemampuan suatu material untuk melawan deformasi. Dengan kata lain, kemampuan suatu material untuk tahan terhadap beban (*stress*) tanpa patah. Jenis beban yang dapat ditahan membuktikan kekuatan suatu material. Kekerasan dan kekuatan sangat erat kaitannya dengan sifat logam.

10. ***Tensile strength***

Kekuatan tarik (*tensile strength*) adalah kemampuan suatu material untuk menahan tegangan maksimum ketika ditarik. Tegangan maksimum tersebut terjadi pada kurva tegangan dan regangan. Pada tegangan maksimum, *necking* mulai terbentuk, dan saat material tersebut patah dinamakan dengan tegangan patah (*fracture*).

11. ***Thermal expansion***

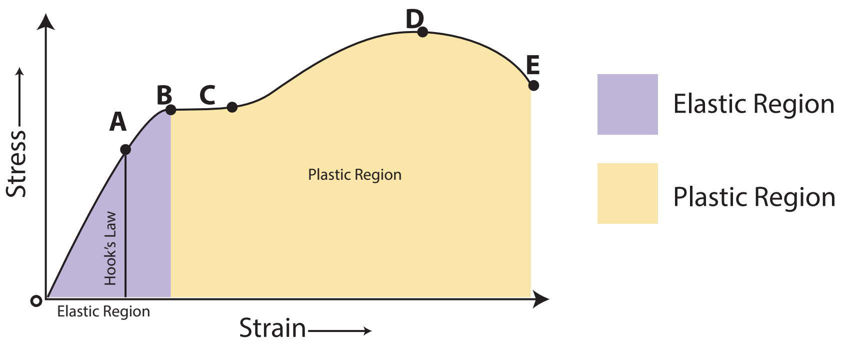
Ekspansi panas (*thermal expansion*) mengacu pada kontraksi dan ekspansi suatu material yang merupakan reaksi logam dari pemanasan atau pendinginan. Panas yang diterapkan pada material logam dapat berkembang atau menjadi lebih besar. Pendinginan dan pemanasan memengaruhi rancangan las jig, pekerjaan cor, dan toleransi diperlukan untuk bahan canai panas (*hot rolled steel*).

12. ***Toughness***

Ketangguhan (*toughness*) adalah ukuran kemampuan suatu material untuk menahan energi hingga patah (*fracture*). Dengan kata lain, terhadap robek atau sobek, merenggang, atau sebaliknya tanpa cacat. Suatu material memiliki ketangguhan yang baik harus memiliki kekuatan (*strength*) dan keuletan (*ductness*) yang baik pula. Sifat ketangguhan juga sangat diperlukan pada logam pesawat terbang.

13. ***Yield Strength***

Kekuatan luluh (*yield strength*) adalah kemampuan suatu material untuk menahan terjadinya perubahan bentuk atau deformasi karena melunak. Kekuatan luluh juga merupakan kemampuan suatu material untuk tahan terhadap beban (*stress*) tanpa melunak/melembek. Perhatikan gambar di bawah ini.



Gambar 5.5 Diagram kekuatan luluh material

Keterangan:

A = *elastic limit*; nilai batas regangan material

B = *yield strength* (*upper*); nilai atas kekuatan luluh material

C = *yield strength* (*lower*); nilai bawah kekuatan luluh material

D = *ultimate tensile strength*; nilai tegangan maksimum material

E = *fracture*; nilai material terjadi kerusakan/putus

B. Logam dan Nonlogam

1. Logam

Logam banyak macamnya dan masing-masing memiliki sifat dan karakter tersendiri. Agar mudah dalam menentukan jenis logam yang cocok untuk suatu pengerjaan maka dilakukan penggolongan, baik secara kesamaan ciri fisik maupun bahan dasarnya.

a. **Pengelompokan logam secara umum**

1. **Logam berat**; apabila berat jenisnya lebih besar dari 5 kg/dm^3, misalnya nikel, kromium, tembaga, timah hitam, timah putih, dan seng.
2. **Logam ringan**; apabila berat jenisnya lebih kecil dari 5 kg/dm^3, misalnya aluminium, magnesium, titanium, kalsium, kalium, natrium, dan barium.
3. **Logam mulia**; mempunyai nilai ekonomis tinggi dan digunakan untuk keperluan khusus, misalnya sebagai alat tukar (uang), perhiasan, dan aksesori, di antaranya emas, perak, dan platina.
4. **Logam refraktori** atau logam tahan api; biasanya digunakan sebagai unsur paduan dalam pembuatan alat-alat listrik, *silinder line* pada motor bakar, torak, dan alat-alat lain yang memerlukan ketahanan panas, contohnya wolfram, molibdenum, titanium, dan zirkonium.
5. **Logam radioaktif**; dapat memancarkan sinar radioaktif, yaitu sinar alfa, beta, dan gamma, misalnya uranium, plutonium, dan radium.

b. **Pengelompokan logam berdasarkan bahan dasarnya**

1. ***Ferrous*** adalah logam yang mengandung unsur besi. Besi merupakan logam yang sangat penting di bidang teknik, namun besi murni terlalu lunak dan rapuh sebagai bahan kerja dan konstruksi atau material pesawat udara. Besi murni dengan simbol kimia Fe hanya dapat diperoleh melalui reaksi kimia, lain halnya dengan besi teknik yang telah tercampur atau selalu bercampur dengan unsur lain.

   Logam *ferrous* kadang disebut besi karbon atau baja karbon yang bahan dasarnya adalah unsur besi (Fe) dan karbon (C), tetapi sebenarnya juga mengandung unsur lain seperti silisium, mangan, fosfor, dan belerang dengan kadar sangat rendah. Unsur-unsur

dalam campuran itulah yang memengaruhi sifat-sifat besi atau baja, terutama kekerasannya.

2. ***Non-ferrous*** adalah logam yang tidak mengandung unsur besi. Logam jenis ini umumnya tidak digunakan begitu saja tanpa dipadukan dengan logam lain, karena sifat-sifatnya belum memenuhi syarat yang diinginkan, kecuali emas, perak, dan platina yang memang tidak dipadukan (unsur murni) karena telah memiliki sifat yang baik, misalnya ketahanan kimia, daya hantar listrik yang baik, dan cukup kuat. Karena harganya yang mahal ketiga jenis logam ini hanya digunakan untuk keperluan khusus, misalnya dalam teknik proses dan laboratorium serta untuk perhiasan.

   Logam *non-ferrous* juga digunakan untuk campuran besi atau baja dengan tujuan memperbaiki sifat-sifat baja. Jenis logam *non-ferrous* berat yang sering digunakan untuk paduan baja, antara lain nikel, kromium, molibdenum, dan wolfram. Sedangkan dari logam *non-ferrous* ringan antara lain magnesium, titanium, dan kalsium.

   Sifat mekanik logam *non-ferrous* pada umumnya kurang baik, tapi bisa diperbaiki dengan memadukannya dengan bahan lain. Kebanyakan dari logam *non-ferrous* adalah tahan korosi karena adanya lapisan oksida yang kuat, juga ada yang memiliki daya hantar listrik dan panas yang baik.

b. **Pengelompokan logam berdasarkan komposisinya**

1. **Logam murni**, yaitu logam yang tidak dicampur dengan logam atau unsur lainnya. Sifat-sifat logam murni, yaitu kadar kemurniannya 99,9%, kekuatan tarik rendah, titik lebur tinggi, daya hantar listrik baik, dan daya tahan terhadap karat baik.

2. **Logam paduan (*metal alloy*)**, yaitu logam yang dicampur dari dua macam logam atau lebih dalam keadaan cair. Logam paduan dikelompokkan lagi menjadi dua, yaitu logam paduan berat dan logam paduan ringan. Di antara logam paduan berat yang kita kenal antara lain kuningan, perunggu, nikel paduan, dan seng paduan. Adapun logam paduan ringan antara lain aluminium paduan, magnesium paduan, dan titanium paduan. Sifat-sifat logam paduan, yaitu kekerasannya dapat ditingkatkan dari tingkat kekerasan asalnya, kekuatan tariknya dapat diperbesar, daya muainya dapat dikurangi, dan titik leburnya dapat diturunkan atau dinaikkan dibanding titik lebur logam murninya.



Gambar 5.6 Jenis-jenis material logam *ferrous* dan *non-ferrous*
(Sumber: usedcomputer.com.my, 2021)

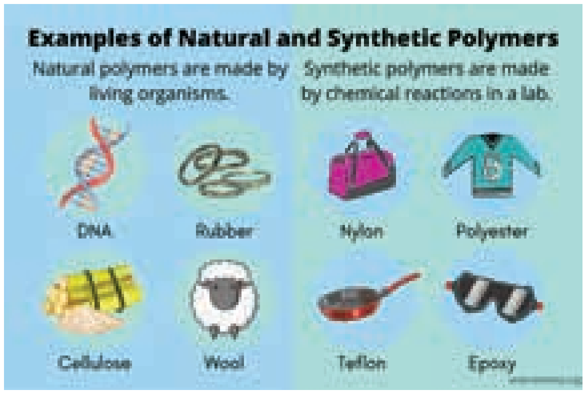
2. Nonlogam

Sama seperti logam, bahan nonlogam juga selalu dibutuhkan dalam teknik bangunan dan mesin, bangunan umum, teknik proses, dan keperluan lainnya. Bahan nonlogam juga digunakan sebagai bahan utama pengganti logam sesuai dengan kemampuan dan sifat-sifat khasnya untuk berbagai keperluan. Aneka bahan nonlogam yang penting untuk bahan teknik, antara lain:

a. Bahan pelumas (minyak dan gemuk)
b. Bahan bakar (padat, cair, dan gas)
c. Bahan paking (perapat cairan dan gas)
d. Bahan isolasi (isolasi panas, listrik, dan getaran)
e. Karet, plastik, termoplastik, dan *thermosetting*
f. Keramik, dan sebagainya.



Gambar 5.7 Material nonlogam
(Sumber: Guilin Hongcheng Mining Equipment, 2020)



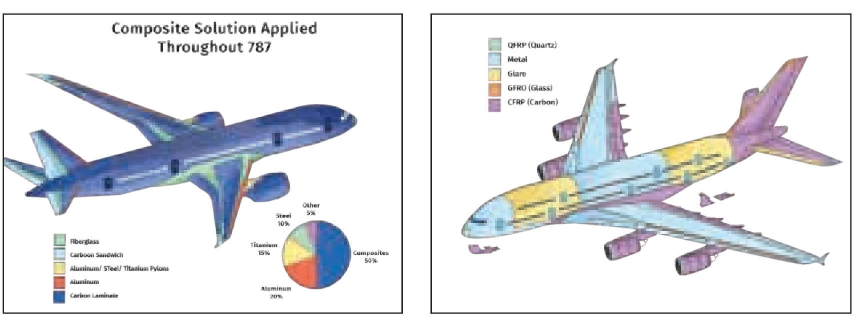
Gambar 5.8 Contoh polimer alami dan sintetis
(Sumber: sciencenotes.org/Anne Helmenstine, 2021)

C. Komposit

Sebagian besar dari kita beranggapan bahwa tekstil hanya digunakan di bidang *fashion*. Padahal, tekstil juga digunakan di dalam pembuatan pesawat, yaitu serat, misalnya *fiberglass*, *aramid*, *kevlar*, dan serat karbon. Penggunaan serat ini direkayasa menjadi bentuk baru yang memiliki sifat mekanik (*mechanical properties*) lebih baik, yaitu komposit.

Komposit banyak digunakan di dalam pembuatan *part* pesawat karena sangat ringan, tetapi kuat. Kuat di sini adalah tahan terhadap gaya-gaya yang bekerja pada pesawat, bukan kuat terhadap benturan. Pada ukuran yang sama besarnya, komposit jauh lebih ringan dan kuat dibanding logam. Selain itu, komposit juga tidak berkarat seperti logam, jadi pesawat lebih awet tanpa mengurangi segi keamanannya.

Penggunaan komposit pada pesawat udara dapat kalian lihat pada kedua gambar berikut ini.



Gambar 5.9 Penggunaan material komposit pada pesawat B787 dan A380

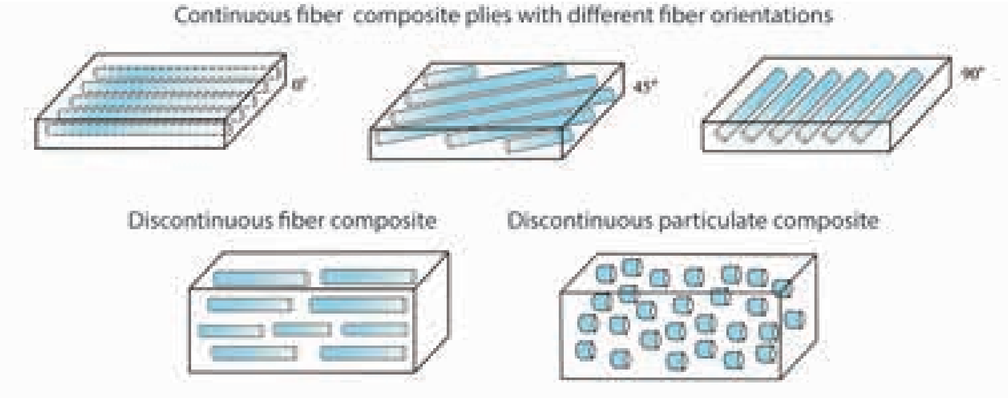
1. Bahan Komposit

Komposit adalah material rekayasa baru yang tersusun dari dua atau lebih bahan utama yang dikombinasikan guna mendapatkan sifat mekanik dan karakteristik yang lebih baik dari logam, yaitu ringan, kuat, dan tidak terkorosi. Bahan komposit terdiri atas penguat (*reinforcement*) dan matriks (*matrix*).

a. *Reinforcement*

Reinforcement di dalam susunan komposit berfungsi sebagai penguat. Bahan *reinforcement* haruslah memiliki sifat mekanik yang lebih kuat dari matriks. Ada dua jenis bahan *reinforcement*, yaitu:

1. *Continuously reinforced*, yaitu bahan penguat komposit yang memiliki bentuk memanjang. Seringkali jenis penguat ini disebut dengan serat. Bahan penguat dari serat bisa diperoleh dari alam maupun buatan (sintetis). Bahan serat alam yang sering digunakan misalnya serat sabut kelapa, serat nanas, serat rambut manusia, serat waru, serat sutera, serat pelepah pisang, dan serat rami. Adapun penguat jenis *fiber synthetic* yang umum dipakai misalnya *fiberglass*, serat karbon, dan aramid.
2. *Discontinuously reinforced*, yaitu bahan penguat komposit berbentuk potongan-potongan pendek dan acak. Ada dua jenis bahan penguat ini, yaitu komposit serat pendek (*short-fiber composite*) dan komposit partikel (*particulate composite*).



Gambar 5.10 *Continuous and discontinuous fiber composite*

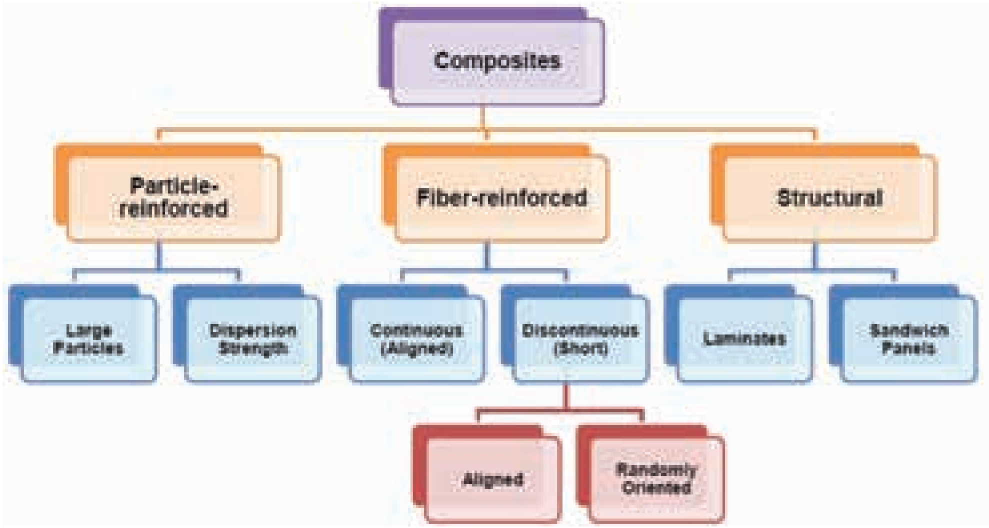
b. Matriks

Matriks adalah bagian terbesar dari bahan komposit yang akan ditingkatkan sifat mekaniknya. Dalam susunan komposit, bahan matriks memiliki persentase volume lebih dari 50 persen. Selain sebagai bahan utama, matriks diharapkan memiliki kemampuan mengikat *reinforcement* dengan baik.

Umumnya matriks berasal dari bahan sintetis. Bahan ini dapat dikelompokkan menjadi dua, yaitu dari jenis *thermoset* dan *thermoplastic*. Matriks yang berasal dari bahan *thermoset* contohnya resin epoksi dan poliester. Resin dari golongan *polyester* yang sering digunakan adalah resin vinil ester. Sedangkan matriks dari bahan *thermoplastic* contohnya resin polieter-eter-keton dan poliamida.

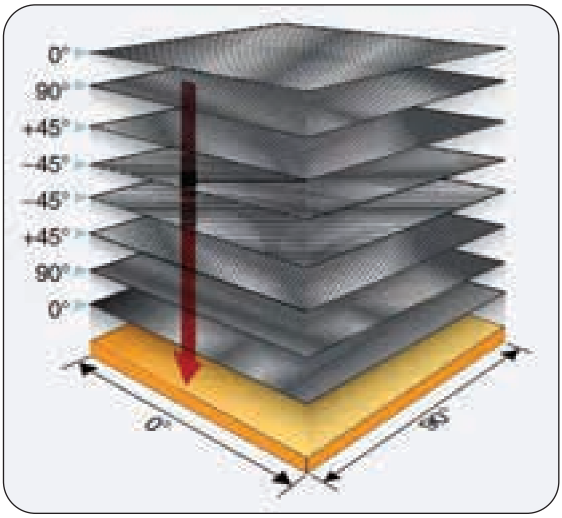
2. Jenis Komposit

Berdasarkan jenis bahan *reinforcement*-nya, komposit diklasifikasikan menjadi tiga jenis, yaitu *structural composite*, *fiber reinforced composite*, dan *particle reinforced composite*. Perhatikan bagan berikut ini.



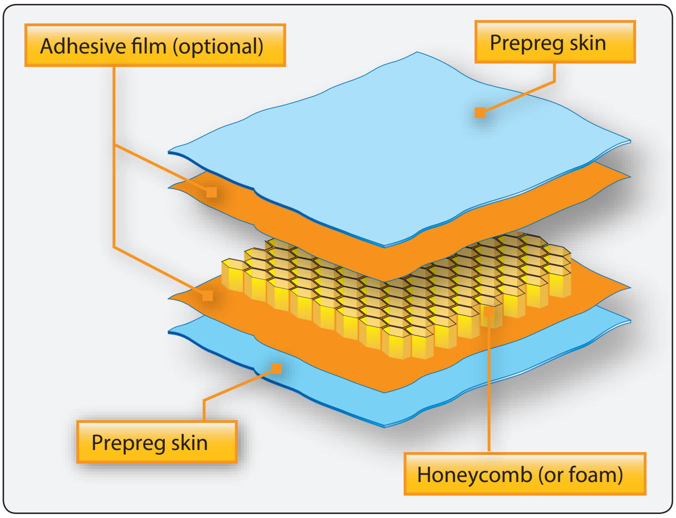
Gambar 5.11 Klasifikasi bahan komposit

Untuk komposit *fiber-reinforced* telah dijelaskan dalam materi bahan komposit. Adapun untuk *structural composite* dibagi lagi menjadi *laminate composite* dan *sandwich composite*. *Laminate composite* adalah komposit yang tersusun atas lapisan-lapisan yang arah sudut pemasangan seratnya di setiap lapisan berbeda. Dibuat berbeda tujuannya agar mendapatkan rasio kekuatan yang merata.



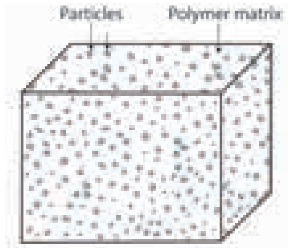
Gambar 5.12 *Laminate composite*
(Sumber: flight-mechanic.com, 2019)

Sandwich composite adalah komposit yang terdiri atas lapisan kulit (*skin*) dan lapisan inti (*core*). Lapisan inti berbentuk *honeycomb* dan direkatkan dengan kedua lapisan kulit pada sisi atas dan bawahnya dengan suatu perekat (*adhesive*).



Gambar 5.13 Susunan komposit jenis *sandwich honeycomb*
(Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 1, 2018)

Particle reinforced composite adalah komposit yang terdiri atas partikel-partikel, baik yang berukuran besar maupun kecil.



Gambar 5.14 Penggambaran struktur *particle reinforced composite*

Berdasarkan bahan matriksnya, komposit dibagi menjadi tiga kategori, yaitu:

a. *Metal matrix composite*, yaitu komposit yang menggunakan logam sebagai bahan matriksnya, biasanya berupa aluminium.

b. *Ceramic matrix composite*, yaitu komposit yang menggunakan keramik sebagai bahan matriksnya, biasanya dari bahan alumina, silikon karbida, aluminum nitrida, silikon nitrida, atau zirkonia.

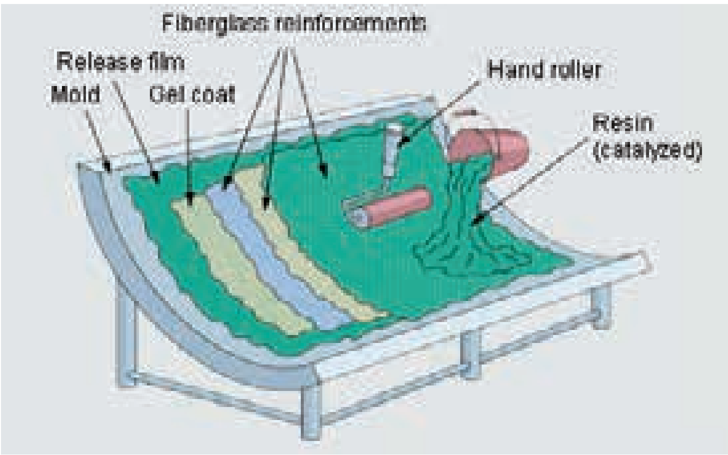
c. *Polymer matrix composite*, yaitu komposit yang menggunakan polimer sebagai bahan matriksnya, bisa berupa epoksi, poliuretan, resin amino, dan poliamida.

3. Cara Membuat Komposit

Komposit bisa dibuat dengan berbagai proses, tapi secara garis besar, pembuatan komposit terbagi menjadi dua macam, yaitu proses cetakan terbuka dan cetakan tertutup. Proses cetakan terbuka dibagi lagi menjadi *hand lay up*, *vacuum bag*, *pressure bag*, *spray up*, dan *filament winding*. Sedangkan proses cetakan tertutup dibagi menjadi proses cetakan tekan, *injection molding*, dan *continuous pultrusion*.

Mari kita membuat komposit!

Kita coba membuatnya dengan proses *hand lay up*, karena cara ini yang paling sederhana. Siapkan terlebih dulu bahan *reinforcement* dan matriks (resin dan *hardener*) dengan takaran yang tepat, lalu aduk dengan menggunakan stik sampai menyatu dengan baik. Siapkan *mold* atau cetakan. Letakkan serat ke dalam cetakan dan tuangkan campuran resin dengan *hardener* (katalis) dengan perbandingan yang telah ditentukan. Lakukan penekanan dengan menggunakan kuas atau *roller*. Ulangi proses tersebut sampai ketebalan yang diinginkan.



Gambar 5.15 Membuat komposit dengan proses *hand lay up*

Catatan penting: bahan *reinforcement* harus memiliki sifat mekanik yang lebih baik dari bahan matriksnya agar sifat mekanik bahan komposit yang dihasilkan tidak lebih rendah dari bahan utamanya.

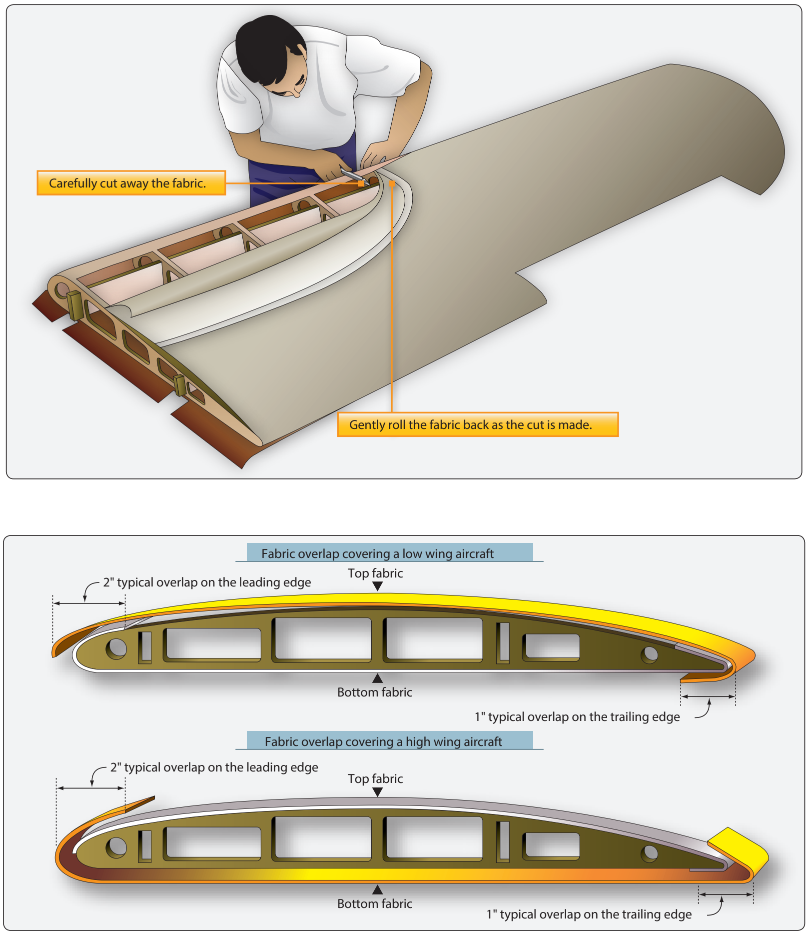
G. Kain/*Fabric*

Kain organik atau kain yang ditenun halus, seperti linen dan katun Irlandia, merupakan kain asli yang digunakan untuk menutupi badan (*fabric covering*) pesawat udara. Kain ini dipakai khusus pada pesawat udara berbadan ringan yang terbang di ketinggian dan kecepatan operasional yang rendah.

Guna mengatasi sifat kain yang lentur dan mudah melorot, maka kain dilapisi minyak dan pernis. Adapun untuk sifat mudah terbakar, para perancang pesawat mengatasinya dengan melarutkan sediaan selulosa dalam asam butirat yang disebut *butyrate dope*. Campuran ini dapat melindungi kain dari kotoran dan kelembapan, tetapi kurang melekat pada kain sehingga perlu dilakukan pelapisan. Pertama, kain dilapisi obat nitrat untuk daya rekat dan kualitas perlindungan; kedua lapisan berikutnya dari obat butirat ditambahkan. Karena pelapis *butyrate dope* mengurangi sifat mudah terbakar maka sistem ini dijadikan sebagai standar perawatan kain.

Masalah kedua, kurangnya daya tahan kain sehingga mengakibatkan masa pakainya menjadi terbatas. Meskipun campuran *nitrate dope* dan *butyrate dope* dapat mencegah kotoran dan air serta mengatasi sedikit masalah degradasi, namun tidak mengatasi kerusakan yang disebabkan oleh radiasi ultraviolet (UV) dari matahari.

Radiasi UV yang sangat kuat tidak hanya mendegradasi kain, tetapi mendegradasi struktur pesawat di bawah kain juga. Upaya melapisi kain menjadi kurang optimal karena lapisan tidak melekat dengan baik pada obat nitrat. Solusinya adalah dengan menambahkan padatan aluminium ke dalam lapisan butirat. Campuran ini mampu memantulkan sinar matahari, mencegah sinar UV, serta melindungi kain dan struktur pesawat.



Gambar 5.16 Penggunaan *fabric cover* pada sayap pesawat udara
(Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 1, 2018)

Terlepas dari perawatannya, kain organik memiliki umur yang terbatas; penutup katun atau linen pada pesawat yang diterbangkan secara aktif hanya bertahan sekitar 5 hingga 10 tahun. Selain itu, kain katun khusus pesawat tidak tersedia selama lebih dari 25 tahun.

Karena industri penerbangan mengembangkan mesin yang lebih bertenaga dan struktur pesawat terbang yang lebih aerodinamis, aluminium

menjadi bahan pilihan. Penggunaan aluminium pada mesin, rangka pesawat, dan penutup merevolusi penerbangan secara besar-besaran. Aluminium melindungi struktur pesawat dari elemen cuaca yang mengganggu, awet, dan tidak mudah terbakar.

Dalam pembahasan *fabric covering* pesawat udara, beberapa istilah berikut lazim digunakan.

1. *Warp*; arah sepanjang kain.
2. *Fill* atau *weave*; arah melintasi lebar kain.
3. *Count*; jumlah benang per inci pada *wrap* dan *filling*.
4. *Ply*; jumlah benang yang menyusun selembar kain.
5. *Bias*; potongan, lipatan, atau jahitan yang dibuat secara diagonal pada benang *wrap* atau benang *filling*.
6. *Pinked edge*; tepi yang telah dipotong oleh mesin atau gunting merah muda khusus mencegah kerikil secara berkesinambungan.
7. *Selvage edge*; tepi kain, selotip, atau anyaman tepi agar tidak kusut.
8. *Greige*; kondisi kain poliester setelah proses produksi selesai sebelum panas menyusut.
9. *Cross coat*; sebuah metode penyemprotan cairan protektif di mana lapisan kedua disemprotkan 90° ke arah lapisan pertama. Kedua lapisan itu bersama-sama menjadi satu lapisan silang.

Aktivitas Pembelajaran

1. Buatlah kelompok bersama teman-temanmu, diskusikan dan rencanakan bersama pembuatan sebuah film pendek yang menerangkan tentang jenis-jenis material beserta sifatnya!
2. Susunlah bersama teman kelompokmu sebuah makalah yang menerangkan tentang jenis-jenis material pada struktur pesawat udara!
3. Bersama teman kelompokmu pergilah ke *workshop*/hanggar sekolahmu. Cobalah membuat salah satu bagian dari struktur pesawat dari bahan komposit. Ingat, pencampuran bahan penguat dan matriks memiliki takaran tertentu agar didapat struktur komposit yang kuat.

Rangkuman

1. Secara umum, material terbagi menjadi material logam dan nonlogam. Dari kemurniannya, logam terbagi lagi menjadi logam murni dan logam paduan.
2. Jenis bahan yang sering digunakan dalam industri, yaitu logam, keramik, polimer, dan komposit.
3. Setiap bahan memiliki sifat yang berbeda, maka pemilihan bahan yang tepat akan menghasilkan produk yang tepat guna. Oleh karena itu, pengetahuan mengenai sifat dan jenis material sangatlah penting.
4. Sifat-sifat material logam meliputi kerapuhan (*brittleness*), konduktivitas (*conductivity*), massa jenis (*density*), keuletan (*ductiliy*), fusibilitas (*fusibility*), elastisitas (*elasticity*), kekerasan (*hardeness*), kelunakan (*melleability*), kekuatan (*strength*), kekuatan tarik (*tensile strength*), ekspansi panas (*thermal expansion*), ketangguhan (*toughness*), dan kekuatan luluh (*yield strength*).
5. Berdasarkan bahan dasarnya, logam dibedakan menjadi logam *ferrous* (mengandung besi) dan *non-ferrous* (tidak mengandung besi). Keduanya memiliki sifat mekanik yang berbeda yang dibutuhkan dalam bidang teknik.
6. Bahan nonlogam juga digunakan sebagai bahan utama pengganti logam sesuai dengan kemampuan dan sifat-sifat khasnya. Terdiri atas pelumas, bahan bakar, bahan paking, isolator, karet, dan keramik.
7. Komposit banyak digunakan di dalam pembuatan *part* pesawat karena sangat ringan dan kuat. Dengan ukuran yang sama besar, komposit jauh lebih ringan dan kuat dibandingkan logam.
8. Bahan komposit terdiri dari penguat (*reinforcement*) dan matriks (*matrix*). Bahan penguat harus memiliki sifat mekanik yang lebih baik dibanding bahan matriksnya.
9. Berdasarkan jenis bahan *reinforcement*-nya, komposit diklasifikasikan menjadi tiga jenis, yaitu *structural composite*, *fiber reinforced composite*, dan *particle reinforced composite*.

10. Komposit bisa dibuat dengan berbagai proses, tapi secara garis besar, pembuatan komposit terbagi menjadi dua macam, yaitu proses cetakan terbuka dan cetakan tertutup.
11. Untuk jenis pesawat tertentu masih memakai bahan kain/*fabric* yang dikuatkan untuk menutup sayapnya. Kain itu diberi penguat yang disebut butirat agar tahan terhadap paparan sinar matahari, hujan, terpaan angin, dan kotoran serta tidak mudah terbakar dan robek.

Tes Formatif

1. Apa syarat utama material agar dapat digunakan dalam pembuatan pesawat udara?
2. Seberapa penting seorang teknisi harus mengetahui karakteristik material pembuat pesawat udara? Jelaskan!
3. Sebutkan kandungan material apa saja yang dipakai pada struktur pesawat dan pada mesin turbin pesawat!
4. Sebutkan klasifikasi empat jenis material yang umum dipakai dalam bidang *engineering*!
5. Terbuat dari apa kulit sayap pesawat? Perlakuan khusus seperti apa agar sayap pesawat lebih awet dan kuat?
6. Apa yang dimaksud dengan *brittleness*? Material apa saja yang memiliki sifat tersebut?
7. Jenis material golongan apa yang diandalkan sifat *hardeness*-nya?
8. Apa yang dimaksud komposit? Jelaskan!
9. Apa yang dimaksud *mechanical properties* pada komposit? Jelaskan!
10. Di bagian mana saja pengaplikasian komposit pada pesawat udara?

Refleksi

Berilah tanda centang (√) pada materi yang telah kalian pahami!

☐	Memahami jenis dan sifat material yang digunakan pada bagian-bagian tertentu pada struktur pesawat udara.
☐	Memahami dan mengerti perbedaan sifat logam dan nonlogam.
☐	Memahami dan mengindentifikasi bahan yang termasuk nonlogam.
☐	Memahami material besi dan sifat-sifatnya.
☐	Memahami logam paduan.
☐	Memahami pembuatan komposit dan penerapannya.
☐	Memahami penanganan pemeliharaan pesawat udara terkait materialnya.

Apabila ada materi yang belum kamu pahami, silakan diskusikan kepada sesama temanmu atau tanyakan kepada gurumu.

Pengayaan

Untuk lebih mengetahui istilah-istilah dalam material pesawat udara, silakan jelajahi internet melalui alamat situs-situs berikut ini.

www.faa.gov

www.easa.europa.eu

www.boeing.com

www.airbus.com

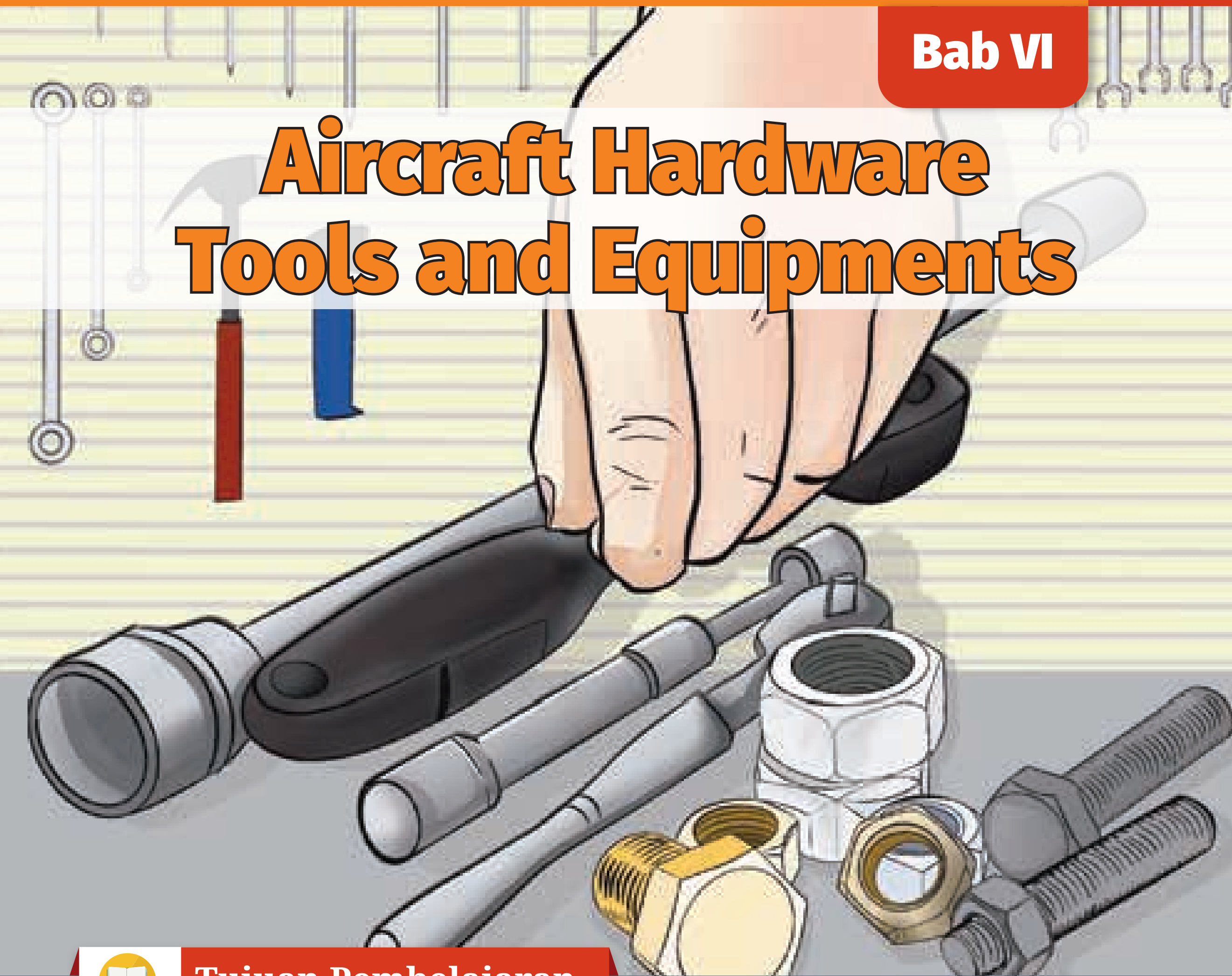
KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET, DAN TEKNOLOGI REPUBLIK INDONESIA, 2022

Dasar-Dasar Teknik Pesawat Udara
untuk SMK/MAK Kelas X

Penulis: Maruli Tua, Asep Gunawan
ISBN: 978-623-388-011-4 (PDF)

Bab VI

Aircraft Hardware Tools and Equipments

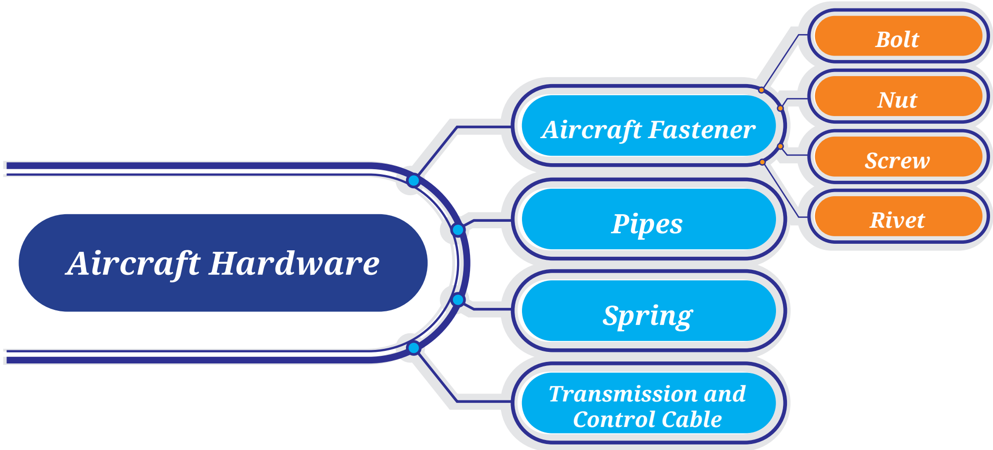


Tujuan Pembelajaran

Setelah mempelajari bab ini diharapkan kalian dapat:

1. Memahami karakteristik dan jenis alat pengikat (*fastener*).
2. Memahami karakteristik pipa dan penyambungan, pegas dan bantalan, kabel transmisi dan kabel kontrol, serta kabel elektrikal dan konektor.
3. Memahami macam dan spesifikasi perangkat keras (*hardware*) pesawat udara.
4. Memahami karakteristik dan jenis perangkat kerja (*tools*).
5. Memahami alat-alat kerja dasar atau umum (*general tools*) dan alat-alat kerja khusus (*special tools*).
6. Memahami alat-alat kerja yang tidak memerlukan kalibrasi (*non-calibrated tools*) dan yang membutuhkan kalibrasi (*calibrated tools*).
7. Memahami perlengkapan atau perangkat yang digunakan sebagai pendukung dalam operasional penerbangan pesawat udara (*aircraft equipments*).
8. Memahami perlengkapan penunjang pelayanan darat (*ground support equipments*) dan perlengkapan selama penerbangan berlangsung.
9. Memahami perlengkapan umum (*general equipments*), perlengkapan khusus (*special equipments*), dan perlengkapan darurat (*emergency equipments*).

Peta Konsep



Kata kunci: *Alat pengikat berulir, klasifikasi ulir, jenis kepala baut, non-self-locking nut, solid-shank rivet, blind rivet, flexible hose, fittings, connector, bearings, turnbuckle, general tools, measurement tools, general equipments, special equipments, aircraft emergency equipments.*

Perhatikan sebuah pesawat yang bersiap lepas landas. Ada banyak sekali perlengkapan pendukung yang bekerja di dekatnya, ada truk yang memasukkan air bersih, ada transporter yang mengangkut barang penumpang, ada truk yang mengisi bahan bakar, dan terlihat teknisi menyiapkan tangga agar penumpang bisa naik ke dalamnya.

Amati pula sayap-sayapnya yang membelah aliran udara saat terbang. Sayap itu tersusun atas lembaran-lembaran aluminium yang disatukan dengan *tools* dan dikonstruksi sedemikian rupa sehingga kokoh menahan gaya-gaya yang bekerja padanya.

A. Pengertian *Aircraft Hardware*

Perangkat keras pesawat udara (*aircraft hardware*) adalah istilah untuk menggambarkan berbagai jenis pengikat/pengencang dan aneka komponen kecil lainnya yang digunakan dalam pembuatan, perawatan, dan perbaikan pesawat udara. Dalam pemeliharaan dan perawatan pesawat, pekerjaan seperti me-*rivet* (*riveting*), membaut (*bolting*), mematri (*brazing*), dan mengelas (*welding*) memerlukan peralatan atau *tools*. Proses penyatuan antarkomponen harus dipastikan kuat.

Terkadang *aircraft hardware* sering diabaikan karena ukurannya yang kecil, padahal pengoperasian pesawat yang aman dan efisien sangat bergantung pada *aircraft hardware* yang tepat. Selain *aircraft hardware* dan *aircraft tools*, pesawat juga membutuhkan *aircraft ground equipments* untuk menunjang pelayanan saat kedatangan, keberangkatan, pemuatan kargo, dan penurunan penumpang.

B. Pengikat (*Fasteners*)

Kebanyakan komponen *aircraft hardware* dikenali berdasarkan nama dagang dari pabrik pembuat dan nomor spesifikasinya. *Rivet* dan alat pengikat berulir umumnya dikenali berdasarkan standar yang digunakan. Metode standar yang paling banyak digunakan pada *aircraft hardware* yaitu AN (*Air Force-Navy*), NAS (*National Aircraft Standard*), dan MS (*Military Standard*).

1. Alat Pengikat Berulir (*Threaded Fasteners*)

Berbagai jenis alat pengencang harus dapat dibongkar pasang ataupun diganti dengan cepat dan dilakukan dengan sering. Apa yang akan terjadi apabila bagian yang sering dibongkar pasang tersebut disambung dengan menggunakan paku keling (*rivet*) atau dilas (*welding*). Jika begitu maka setiap kali diservis akan semakin melemahkan atau justru merusak sambungan. Terlebih lagi ada beberapa sambungan yang membutuhkan kekuatan tarik dan kekakuan yang lebih besar daripada *rivet*.

Baut (*bolt*) dan sekrup (*screw*) adalah dua jenis alat pengikat yang memberikan keamanan pemasangan dan kekakuan. Umumnya baut digunakan bila pengencangan itu memerlukan kekuatan yang besar, sedangkan sekrup digunakan bila kekuatan pengencangan bukan faktor penentu atau kekuatannya relatif kecil. Baut dan sekrup serupa dalam banyak hal. Keduanya digunakan untuk mengikat/menahan dan setiap ujungnya memiliki kepala.

Ada perbedaan antara baut dan sekrup. Ujung baut selalu berulir tumpul, sedangkan ujung sekrup umumnya runcing, walau ada juga yang tumpul. Ujung baut yang berulir biasanya berpasangan dengan mur (*nut*), sedangkan ujung sekrup bisa masuk/mengulir ke dalam bagian yang akan disambung. Sebuah baut memiliki bagian yang tidak berulir pada batangnya, sedangkan sekrup hampir semua batangnya berulir. Pemasangan baut umumnya dikencangkan dengan cara memutar mur dan menahan kepala bautnya, sedangkan sekrup selalu dikencangkan dengan memutar kepalanya.

Jika sebuah pengikat dari komponen pesawat harus diganti, maka spesifikasi pengikat pengganti tersebut harus sama dengan pengikat aslinya.

2. Klasifikasi Ulir (*Classification of Thread*)

Baut, sekrup, dan mur pesawat udara memiliki seri ulir tersendiri, yaitu seri ulir NC (*American National Coarse*), seri ulir NF (*American National Fine*), seri ulir UNC (*American Standard Unified Coarse*), dan seri ulir UNF (*American Standard Unified Fine*).

Ada perbedaan tanda antara seri ulir NC dan UNF. Dalam ukuran diameter 1 inci, ulir NF ditentukan 14 ulir per inci (1-14 NF), sedangkan ulir UNF ditentukan 12 ulir per inci (1-12 UNF). Kedua jenis ulir tersebut didesain dengan nomor sejak ulir terputar melingkar 1 inci dari jarak diameter baut dan sekrup. Sebagai contoh, ulir 4-28 inci menunjukkan bahwa diameter baut ¼ inci (4/16 inci) memiliki 28 ulir dalam 1 inci panjang ulirnya.

Ulir diklasifikasikan menjadi empat kelas, yaitu:

a. Kelas 1 adalah suaian longgar (*loose fit*). Ulir kelas 1 dapat diputar tangan dengan tenaga yang kecil, contohnya ulir pada bohlam lampu dan tutup botol.

b. Kelas 2 adalah suaian bebas (*free fit*). Ulir kelas 2 dapat diputar tangan dengan tenaga yang besar, contohnya ulir pada sekrup.

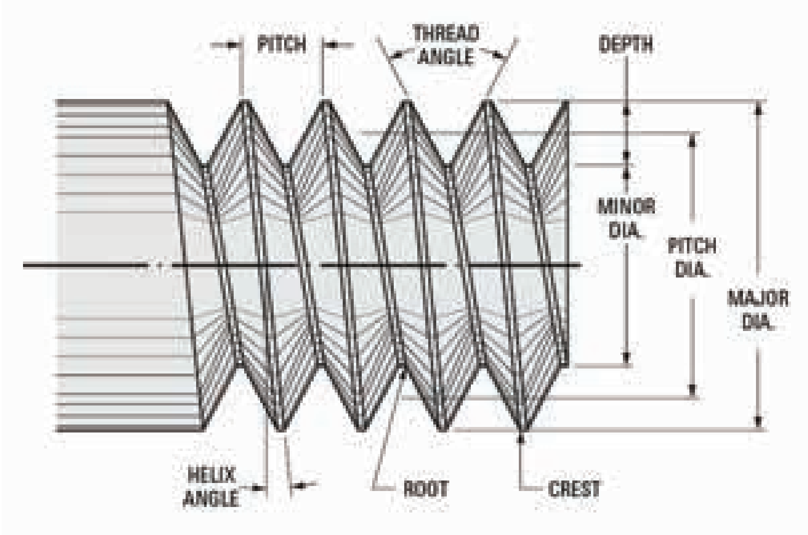
c. Kelas 3 adalah suaian sedang (*medium fit*). Ulir kelas 3 harus diputar murnya menggunakan kunci dengan menahan kepala bautnya menggunakan tenaga yang sedang. Ulir dan baut pesawat umumnya kelas 3.

d. Kelas 4 adalah suaian sesak (*close fit*). Ulir kelas 4 pemasangan dan pelepasannya menggunakan kunci dengan menggunakan tenaga yang ekstra besar. Ulir jenis ini biasanya digunakan untuk baut yang dipasang pada bagian yang memerlukan kerapatan tinggi, contohnya baut pada mesin.

Baut dan mur dibuat dengan ulir kanan dan kiri. Untuk mengencangkan ulir kanan diputar searah jarum jam, sedangkan ulir kiri diputar berlawanan arah jarum jam.

3. Bentuk Ulir (*Thread Form*)

Apakah semua ulir berbentuk sama atau berbeda? Mari kita lihat fungsi ulir dan nomenklatur pengikat berulir (*threaded fastener nomenclature*) pada Gambar 6.1.



Gambar 6.1 Nomenklatur pengikat berulir
(Sumber: AFI Assembly Fasteners, 2021)

Ulir mempunyai tiga prinsip penggunaan, yaitu:

a. Untuk memegang komponen secara bersama.

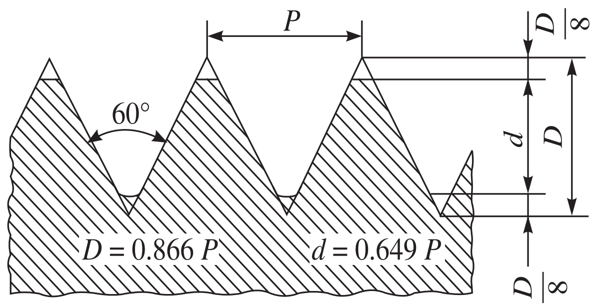
b. Untuk memasang/menyatukan komponen satu dengan lainnya.

c. Untuk meneruskan tenaga.

Dari nomenklatur tersebut, terlihat bentuk ulir bermacam-macam. Perhatikan pembahasan bentuk ulir dan kegunaannya berikut ini.

a. *American (National) Standard Thread*

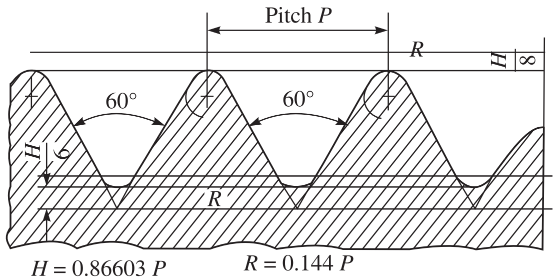
Ulir standar nasional Amerika adalah modifikasi ulir sekrup-V dengan bagian bawah dan puncaknya berbentuk rata sehingga membuat ulir kuat. Tipe ulir ini digunakan untuk pemasangan khusus, karena menghasilkan gesekan yang meningkat di area pinggir ulir.



Gambar 6.2 *American National Standard Thread*
(Sumber: Engineering Drawing and Graphics, 2016)

b. *Unified Thread*

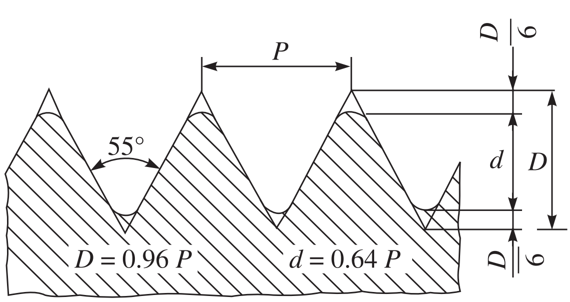
Ulir standar Amerika yang dimodifikasi *root* dan *crest* yang membulat sebagai perpaduan ulir *Whitworth* sehingga dapat ditukar-tukar secara sempurna dari ulir di Amerika, kanada, dan Inggris.



Gambar 6.3 *Unified thread*
(Sumber: Engineering Drawing and Graphics, 2016)

c. *Whitworth Thread*

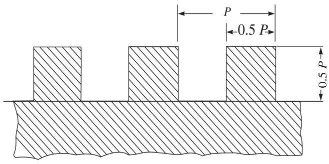
Ulir standar Inggris dan paling mirip dengan penggunaan ulir standar Amerika.



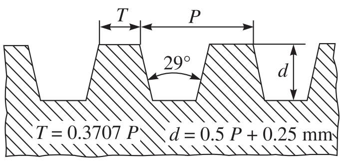
Gambar 6.4 Whitworth thread
(Sumber: Engineering Drawing and Graphics, 2016)

d. *Square Thread*

Secara teoretis, ulir kotak (*square thread*) cocok untuk transmisi tenaga karena permukaannya membentuk sudut siku-siku terhadap sumbu garis, tetapi karena sukar pencopotannya dari *dies*, ulir kotak sering diganti dengan ulir Acme.



Gambar 6.5 *Square thread*



Gambar 6.6 *Acme thread*

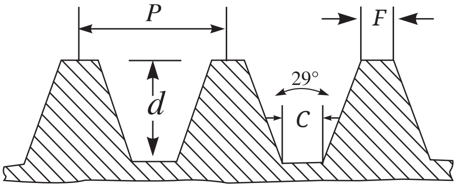
(Sumber: Engineering Drawing and Graphics, 2016)

e. *Acme Thread*

Ulir Acme adalah modifikasi dari ulir kotak (*square thread*). Ulir ini lebih kuat daripada ulir kotak dan lebih mudah pencopotannya.

f. *Worm Thread*

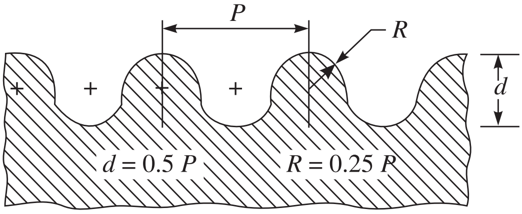
Ulir cacing (*worm thread*) mirip dengan ulir Acme, tetapi lebih dalam. Ulir ini digunakan pada poros untuk menyalurkan tenaga.



Gambar 6.7 *Worm thread*

g. *Knuckle Thread*

Knuckle thread biasanya dipilin dari pelat logam, tetapi terkadang dicetak. Ulir ini digunakan dalam lampu elektrik, soket, bagian atas botol, dan sebagainya.

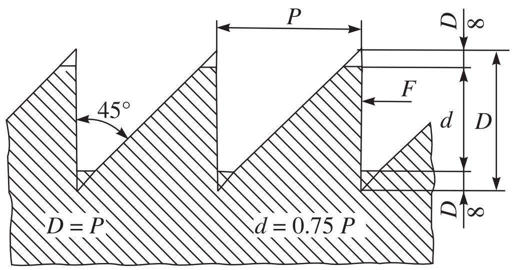


Gambar 6.8 *Knuckle thread*

(Sumber: Engineering Drawing and Graphics, 2016)

h. *Buttress Thread*

Ulir ini digunakan untuk meneruskan tenaga pada satu sisi.



Gambar 6.9 *Buttress Thread*
(Sumber: Engineering Drawing and Graphics, 2016)

C. Baut Pesawat Udara

Terbuat dari apa baut pesawat udara? Seperti apakah bentuknya? Standar apa yang diterapkan?

Baut dibuat dari kadmium atau baja antikarat berlapis seng, baja antikarat tanpa lapisan, atau dari aluminium paduan yang dianodisasi/dipertebal. Kebanyakan baut yang digunakan dalam struktur pesawat adalah *general purpose bolt*, *AN bolts*, *NAS internal wrenching* atau *close tolerance bolts*, dan *MS bolts*. Dalam kasus tertentu, pabrik membuat baut dengan dimensi yang berbeda atau lebih kuat dari tipe standar. Baut semacam itu dibuat untuk pengaplikasian khusus atau sebagai baut pengganti. Baut khusus biasanya ditandai dengan huruf "S" yang tertera di kepala.

1. Jenis Kepala Baut untuk Pesawat Udara

Perhatikan Gambar 6.10 untuk mengenali jenis baut pesawat.

a. *AN bolts* mempunyai tiga bentuk kepala, yaitu kepala segi enam (*hex head*), *Clevis*, dan *eyebolt*.

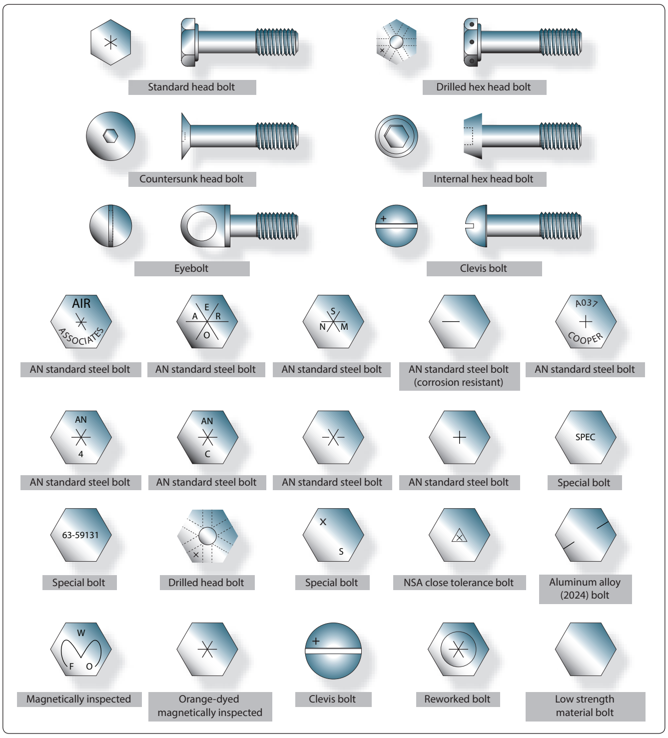
b. *NAS bolts* mempunyai tiga bentuk kepala, yaitu kepala segi enam (*hex head*), *internal wrenching*, dan *countersunk head styles*.

c. MS bolts mempunyai dua bentuk kepala, yaitu kepala segi enam (*hex head*) dan *internal wrenching styles*.

2. Identifikasi dan Kode

Baut memiliki banyak bentuk dan macamnya. Bagaimana cara mengidentifikasinya?

Baut dapat diidentifikasi dari bentuk kepalanya, dari segi metode keamanannya, dari bahannya, atau dari penggunaannya. Baut pesawat tipe AN dapat diidentifikasi melalui kode pada kepalanya. Umumnya pabrik menginformasikan material dan standar yang dipakai pada produknya.



Gambar 6.10 Mengenal kepala baut pesawat udara
(Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook-General, 2018)

Baut baja standar AN ditandai dengan tanda bintang, baut baja tahan karat ditandai dengan garis tunggal timbul, dan baut aluminium paduan ditandai dengan dua garis timbul. Informasi tambahan, diameter, panjang baut, dan panjang genggamannya dapat dilihat dari nomor komponen baut.

Coba kalian perhatikan cara membaca identifikasi baut. Sebagai contoh, baut dengan nomor komponen AN3DD5A. Tanda "AN" adalah baut berstandar *Air Force-Navy*, angka "3" menunjukkan diameter dalam seperenam belas inci (3/16), "DD" menunjukkan material 2024 *aluminum alloy*. Tulisan "C" dalam tempat "DD" menunjukkan baja tahan karat, dan

jika tidak ada tulisannya menunjukkan baja *cadmium-plated*. Angka "5" menunjukkan panjang dalam seperdelapan inci (5/8), dan "A" menunjukkan bahwa batangnya (*shank*) tidak dibor. Jika tulisan "H" yang didahului tulisan "5" penambahan pada "A" yang berikutnya, kepala akan dibor untuk keamanan.

NAS close-tolerance bolt ditandai juga dengan segitiga timbul atau terbenam untuk menandai bahan baut NAS sama dengan baut AN. Baut inspeksi secara magnetik (*magneflux*) atau fluoresensi (*zyglo*) ditandai dengan warna pernis atau kepalanya menandakan tipe khusus.

3. *General Purpose Bolts*

Baut pesawat kepala segi enam (AN-3 hingga AN-20) adalah baut struktural serbaguna untuk aplikasi umum yang melibatkan tegangan atau beban geser, di mana penggerak ringan diperbolehkan (0,006 inci jarak untuk lubang 5/8 inci dan ukuran lain yang proporsional).

Baut baja paduan yang lebih kecil dari No. 10−32 dan baut aluminium paduan dengan diameter lebih kecil dari ¼ inci tidak digunakan pada struktur utama. Baut dan mur aluminium paduan tidak digunakan karena akan berulang kali dilepas untuk tujuan pemeliharaan dan inspeksi. Mur aluminium paduan dapat digunakan dengan baut baja berlapis kadmium yang dibebani tegangan geser di permukaan pesawat, tetapi tidak digunakan pada pesawat amfibi karena kemungkinan korosi.

AN-73 *drilled head bolt* sama dengan *standard hex bolt*, tetapi mempunyai kepala lebih dalam yang dibor untuk memasang kawat pengaman. *Bolt* seri AN-3 dan AN-73 dapat dipertukarkan untuk semua tujuan secara praktis dari sudut pandang tegangan dan kekuatan geser.



Gambar 6.11 AN-3 *drilled shank bolt* (baut dengan badan berlubang)
(Sumber: aircraftspruce.com, 2020)

4. *Close-Tolerance Bolts*

Penerapan baut jenis ini lebih akurat daripada *general purpose bolt*. *Close-tolerance bolts* bisa memiliki kepala *hex* (AN-173 hingga AN-186) atau *countersunk* 100° (NAS-80 hingga NAS-86). Baut ini digunakan dalam pemasangan yang membutuhkan kerapatan tinggi (*tight drive*). Baut akan berpindah ke posisinya hanya jika dipukul dengan palu ukuran 12 hingga 14 ons.



Gambar 6.12 AN-176 *close-tolerance bolts*
(Sumber: aircraftspruce.com, 2020)



Gambar 6.13 AN-177-42 *close-tolerance bolts - steel drill shank bolt*
(Sumber: skygeek.com, 2021)

5. *Internal-Wrenching Bolts*

Baut MS-20004 hingga MS-20024 atau NAS-495 terbuat dari baja berkekuatan tinggi dan cocok digunakan pada aplikasi tegangan tarik (*tension*) dan tegangan geser (*shear*). Jika digunakan pada bagian baja, lubang baut harus sedikit miring ke belakang untuk menempatkan jari-jari sudut yang besar dari *shank* pada kepalanya.

Kepala *internal-wrenching-bolt* dibuat berlekuk untuk memungkinkan masuknya kunci pas saat memasang atau melepas baut. Pasangan baut ini harus menggunakan mur berkekuatan tinggi. *Standard AN hex head bolts* dan *ring* (*washers*) tidak dapat digantikan dengan yang lain karena belum tentu memiliki kekuatan sesuai dengan yang dibutuhkan.



Gambar 6.14 MS-20004 *internal-wrenching bolts*
(Sumber: skygeek.com, 2021)

D. Mur Pesawat Udara

Untuk pengikatan benda kerja, umumnya baut berpasangan dengan mur. Sama dengan baut, mur pesawat udara dibuat dalam berbagai bentuk dan ukuran. Mur pesawat udara terbuat dari baja karbon berlapis kadmium, baja

tahan karat, atau aluminium paduan *anodized* 2024T, dan dibuat dengan ulir kanan atau kiri. Tidak ada tanda pengenal atau tulisan yang tercetak pada mur. Mur dikenali dari bentuk konstruksinya dan karakteristik logam atau warna logamnya.

Apa akibatnya apabila mur pesawat udara lepas pada saat pesawat dalam kondisi terbang? Untuk mencegah hal itu terjadi, harus ada cara untuk mengamankan agar mur tersebut tidak terlepas. Caranya adalah dengan memberikan pengaman atau pengikat pada mur tersebut.

Berdasarkan metode pengamanannya, mur terbagi menjadi dua kelompok, yaitu:

1. Mur yang tidak memiliki pengunci sendiri (*non-self-locking nut*)
2. Mur yang memiliki pengunci sendiri (*self-locking nut*)

Non-self-locking nut harus diamankan oleh perangkat pengunci eksternal, seperti *cotter pin*, kawat pengaman, atau *locknuts*.

1. Identifikasi dan Kode

Cara mengidentifikasi mur adalah melalui nomor seri atau nomor komponennya (*part numbers*). *Non-self-locking nut* beserta *part numbers*-nya, misalnya *plain* AN315 dan AN335, *castle* AN310, *plain check* AN316, *light hex* AN340 dan AN345, *wing nut* AN350, dan *castellated shear* AN320.

Jenis penguncian otomatis (*self-locking nut*) yang dipatenkan diberi nomor komponen mulai dari MS20363 hingga MS20367.

Huruf dan angka setelah *part numbers* menunjukkan item seperti bahan, ukuran, jumlah ulir per inci, dan apakah ulir itu mengencangkannya ke kanan atau kiri. Huruf "B" setelah *part numbers* (nomor suku cadang) menunjukkan bahan mur adalah kuningan (*brass*), "D" menunjukkan aluminium paduan 2017-T, "DD" menunjukkan aluminium paduan 2024-T, "C" menunjukkan baja tahan karat, dan tanda hubung di samping huruf menunjukkan baja karbon berlapis kadmium.

Angka (atau dua angka) setelah tanda hubung atau huruf kode bahan adalah *dash number nut*, ini menunjukkan ukuran *shank* dan ulir per inci baut tempat mur akan dipasang. Tanda hubung (-) disesuaikan dengan gambar pertama yang muncul di kode *part number* dari *general purpose bolts*. Tanda hubung dan angka 3, misalnya, menunjukkan bahwa mur akan sesuai

dengan baut AN3 (10-32), tanda hubung dan angka 4 berarti akan pas dengan baut AN4 (¼-28), tanda hubung dan angka 5 cocok dengan baut AN5 (5/16-24), dan seterusnya.

Nomor kode untuk *self-locking nuts* diakhiri dengan tiga atau empat digit angka. Dua digit terakhir mengacu pada jumlah ulir per inci, dan satu atau dua digit sebelumnya mewakili ukuran mur dalam perenam belas inci.

2. Penjelasan Mur Umum Lain dan Nomor Kodenya

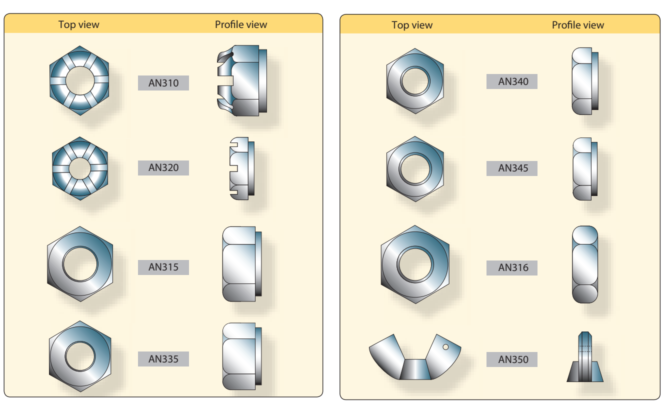
a. Nomor kode AN310D5R: AN310 = *aircraft castle nut*, D = aluminium paduan 2024-T, 5 = diameter inci, R = ulir kanan/*right-hand thread* (biasanya 24 ulir per inci).

b. Nomor kode AN320-10: AN320 = *aircraft castellated shear nut*, (-) baja karbon berlapis kadmium, 10 = 10/16 (diameter 5/8 inci), 18 ulir per inci (mur ini biasanya ulir kanan).

c. Nomor kode AN350B1032: AN350 = *aircraft wing nut*, B = kuningan (*brass*), 10 = baut nomor 10, 32 = jumlah ulir per inci.

d. Mur yang tidak memiliki pengunci sendiri harus diamankan oleh alat pengunci luar. Umumnya adalah tipe *plain nut, castle nut, castellated shear nut, plain hex nut, light hex nut,* dan *plain check nut.*

e. *Castle nut* AN310 digunakan bersama *drilled-shank AN hex head bolts*, *clevis bolts*, *eyebolts*, *drilled head bolts*, atau *studs*. Konstruksinya cukup kokoh dan dapat menahan beban tarik yang besar. *Slot* (yang disebut *castellation*) di dalam mur dirancang untuk pemasangan *cotter pin locking wire* untuk keamanan.



Gambar 6.15 *Non-self-locking nuts*
(Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook-General, 2018)

f. *Castellated shear nut* AN320, dirancang untuk menerima tegangan geser (*shear*) saja.

g. *Plain hex nut* AN315 dan AN335, dirancang untuk menerima tegangan tarik (*tension*) yang besar.

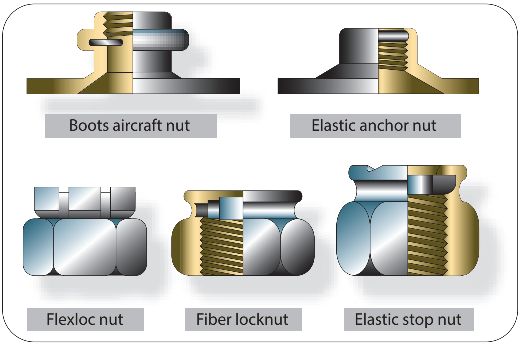
h. *Light hex nut* AN340 dan AN 345, dirancang untuk menerima tegangan tarik (*tension*) yang lebih ringan dibanding *plain hex nut*.

i. *Wing nut* AN350, ditujukan apabila kekencangan yang diinginkan dapat dilakukan dengan tangan dan komponen yang disambung sering dilepas.

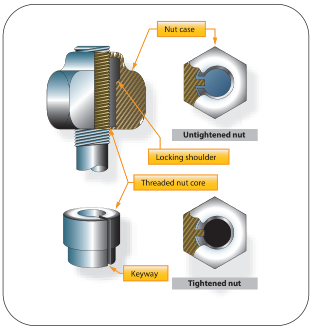
Self-locking nuts mempunyai pengunci yang menyatu dengan konstruksi mur. Ada dua jenis pengunci yang digunakan pada *self-locking nuts*, yaitu:

a. *All-metal type*, terdiri atas *boots self-locking* dan *stainless steel self-locking nuts*.

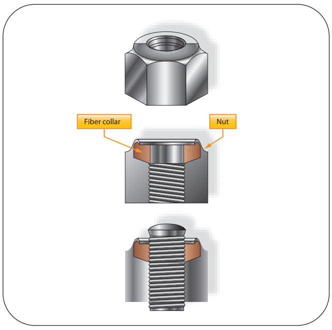
b. *Fiber lock type*, terdiri atas *elastic stop nut*.



Gambar 6.16 *Self-locking nuts*
(Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook-General, 2018)



Gambar 6.17 *Stainless steel self-locking nuts*
(Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook-General, 2018)



Gambar 6.18 *Elastic stop nuts*
(Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook-General, 2018)

E. Sekrup Pesawat Udara

Sekrup (*screws*) adalah perangkat pengikat berulir yang paling umum digunakan di pesawat udara. Sekrup berbeda dari baut karena umumnya terbuat dari bahan berkekuatan lebih rendah. Sekrup dapat dipasang dengan *loose fitting thread* dan bentuk kepalanya dirancang untuk penggunaan obeng atau kunci pas saat pemasangan dan pelepasannya. Beberapa sekrup memiliki bagian yang tidak berulir pada batangnya, sementara yang lain memiliki ulir sepanjang batangnya.

Beberapa jenis *structural screws* berbeda dari *standard structural bolts* hanya dalam bentuk kepala. Bahannya sama dan panjang bagian yang tidak berulir (*grip*) pasti tersedia. AN525 *washer head screw* dan seri NAS220 hingga NAS227 adalah sekrup semacam itu.

1. Pembagian Sekrup

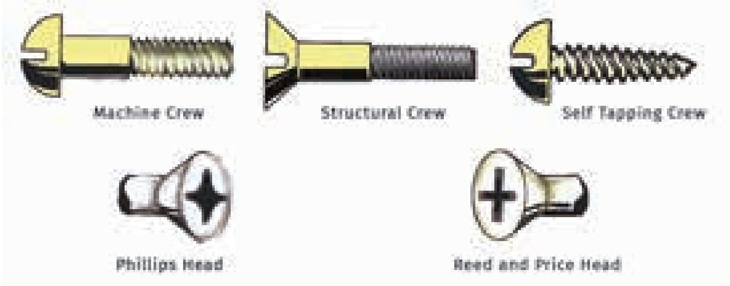
Sekrup yang umum digunakan terbagi dalam tiga kelompok, yaitu:

a. ***Structural screws***; sekrup yang memiliki kekuatan yang sama dengan baut berukuran sama.

b. ***Machine screws***; sekrup yang paling banyak digunakan untuk perbaikan umum.

c. ***Self-tapping screws***; sekrup yang digunakan untuk menyambung bagian yang lebih ringan.

Kelompok keempat, *drive screws*, yaitu sekrup yang tidak mempunyai ulir. Sebagian besar orang mengklasifikasikan *drive screws* bukan sebagai sekrup, melainkan paku (*nail*), di mana pemasangannya sama seperti *rivet*.



Gambar 6.19 *Aircraft Screws*

2. Identifikasi dan Pengkodean Sekrup

Sistem pengkodean yang digunakan untuk mengidentifikasi sekrup mirip dengan sistem pengkodean baut. Ada sekrup AN dan NAS. Sekrup NAS untuk *structural screws*, nomor komponennya 510, 515, 550, dan seterusnya. Sekrup juga dibagi dalam beberapa kelas, seperti *roundhead*, *flathead*, *washer head*, dan sebagainya. Huruf dan angka menunjukkan komposisi bahan, panjang, dan ketebalannya.

Contoh kode AN dan NAS sebagai berikut.

Seri AN501B-416-7 ► AN = *Air Force-Navy Standard*

501 = *Fillister head, fine thread*

B = kuningan (brass)

41 = diameter 4/16 inci

7 = panjang 7/16 inci

Huruf "D" menggantikan "B" menunjukkan bahwa bahannya adalah aluminium paduan 2017-T. Huruf "C" menunjukkan baja tahan korosi. Huruf "A" ditempatkan sebelum huruf kode material menunjukkan bahwa kepala dibor untuk dipasang pengaman.

Seri NAS144DH-22 ► NAS = *National Aircraft Standard*

144 = *head style*; diameter dan baut ulir ¾-28, *internal wrenching*

DH = kepala dibor (*drilled head*)

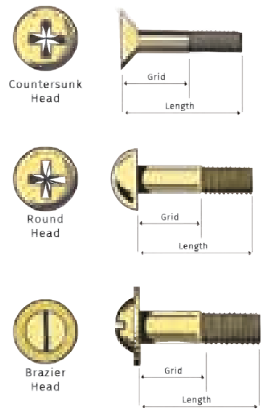
22 = panjang dalam per 16 inci (22/16 = 1¾ inci)

NAS *number* mengidentifikasi nomor komponen. Huruf *sufiks* dan *dash numbers* memisahkan ukuran yang berbeda, bahan pelapisan, spesifikasi pengeboran, dan sebagainya. Nomor dasbor dan huruf *sufiks* tidak memiliki arti standar. Kalian perlu merujuk ke pembahasan khusus NAS di buku standar untuk lebih mengetahuinya.

3. *Structural Screws*

Structural screws terbuat dari baja paduan, diberi perlakuan panas secara tepat, dan dapat digunakan sebagai *structural bolts*. Sekrup ini ditemukan di seri NAS204 hingga NAS235 dan seri AN509 dan AN525.

Structural screws memiliki bagian *shank* yang tidak berulir dan gaya geser yang sama dengan baut yang berukuran sama.



Gambar 6.20 *Structural screws*

Toleransi *shank* sama dengan AN *hex-head bolts* dan ulirnya *National Fine*. *Structural screws* tersedia dengan bentuk kepala *round head*, *brazier head*, atau *countersunk head*. *Recessed head screws* diputar dengan obeng *Phillips* atau *Reed and Prince screwdriver*.

AN509 (100°) sekrup kepala datar (*flathead screw*) digunakan di lubang *countersunk* yang memerlukan permukaan rata. AN525 *washer-head structural screw* digunakan di mana memungkinkan kepala yang tinggi. *Washer-head screw* menyediakan area kontak yang besar.



Gambar 6.21 AN525 *washer-head structural screw*
(Sumber: aircraftspruce.eu, 2022)

4. *Machine Screw*

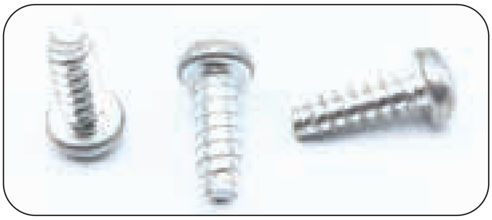
Machine screws biasanya memiliki bentuk kepala *flathead* (*countersunk*), *roundhead*, atau *washer-head*. Sekrup ini adalah sekrup serbaguna, terbuat dari baja karbon rendah, kuningan, baja tahan korosi, dan aluminium paduan. *Roundhead screws* AN515 dan AN520 memiliki kepala berlubang atau tersembunyi. AN515 memiliki ulir kasar, sedangkan AN520 memiliki ulir yang halus. *Countersunk machine screws* terdaftar sebagai AN505 dan AN510 untuk 82° dan AN507 untuk 100°. Penggunaan AN505 dan AN510 cocok dengan AN515 dan AN520 *roundhead*.



Gambar 6.22 AN515 *brass round head instrument screw*
(Sumber: aircraftspruce.com, 2020)

5. *Self-Tapping Screws*

Machine self-tapping screws terdaftar sebagai AN504 dan AN506. Sekrup AN504 memiliki kepala bundar dan AN506 berkepala *countersunk* 82°. Sekrup ini digunakan untuk memasang bagian yang dapat dilepas, seperti pelat nama. Sekrup AN530 dan AN531 *self-tapping sheet-metal screws* sama seperti *Parker-Kalon Z-type sheet-metal screw*, tumpul di ujungnya. *Self-tapping screws* digunakan dalam pemasangan sementara lembaran logam untuk di-*rivet* dan dalam perakitan permanen rakitan nonstruktural. *Self-tapping screws* tidak boleh digunakan untuk mengganti sekrup standar, mur standar, baut standar, dan *rivet* standar.



Gambar 6.23 AN530 *round head self-tapping screw*
(Sumber: military-fasteners.com, 2022)

6. *Drive Screws*

Drive screws AN535 sesuai dengan tipe-U Parker-Kalon. *Drive screws* adalah *plain-head self-tapping screws* yang digunakan sebagai sekrup penutup (*capscrews*) untuk memasang pelat nama. *Drive screws* tidak dimaksudkan untuk dilepas setelah pemasangan. *Drive screws* tidak mempunyai ulir pada batangnya.



Gambar 6.24 AN535 *Drive Screws*
(Sumber: aircraftspruce.com, 2021)

F. Paku Keling (*Rivet*)

Lembaran logam harus diikat bersama untuk membentuk struktur pesawat udara dan ini biasanya dilakukan dengan *rivet*. *Rivet* adalah sebuah pin logam yang digunakan untuk menyambung dua atau lebih lembaran logam dengan kepala di salah satu ujungnya.

Shank rivet dimasukkan ke dalam lubang yang dibor dan ujung *rivet* kemudian diubah bentuknya oleh tangan atau alat pneumatik. Kepala kedua yang dibentuk tersebut dinamakan kepala baru (*shop head*). *Shop head* berfungsi sama seperti mur pada baut.

Penggunaan rivet di pesawat udara bertujuan untuk:

1. Menggabungkan bagian kulit pesawat (*aircraft skin sections*).
2. Menggabungkan bagian *spar* (*joining spar sections*).
3. Menahan bagian *rib* pada tempatnya.
4. Mengamankan alat kelengkapan lain ke bagian pesawat.
5. Mengencangkan anggota penguat (*bracing members*) yang tak terhitung banyaknya dan bagian lainnya secara bersama-sama.

1. Jenis rivet

Ada dua jenis *rivet* utama yang digunakan pada pesawat udara, yaitu:

a. ***Solid shank rivet***; umumnya digunakan dalam pekerjaan perbaikan, di mana pengerjaannya harus menggunakan *bucking bar*. *Rivet* ini diidentifikasi berdasarkan bahan, kepala, ukuran batang, dan kondisi penempaannya. Penunjukan *temper* dan kekuatan *rivet* ditandai oleh tanda khusus di kepala *rivet*.



Gambar 6.25 *Solid shank rivet*
(Sumber: Junying Metal Manufacturing, 2022)

Jenis kepala *solid shank rivet* meliputi:

- Kepala bundar (*round head*)

  Round head rivet digunakan di bagian dalam pesawat. *Rivet* ini memiliki permukaan atas yang dalam dan membulat. Kepalanya cukup besar untuk memperkuat lembaran di sekitar lubang dan memiliki ketahanan terhadap tegangan.

- Kepala datar (*flat head*)

  Flat head rivet, sama halnya *round head rivet*, juga digunakan pada struktur interior. *Rivet* ini memerlukan kekuatan maksimum dan tidak ada jarak yang cukup untuk menggunakan *round head rivet*, terkadang juga digunakan pada permukaan luar.

- Kepala anglo (*brazier head*)

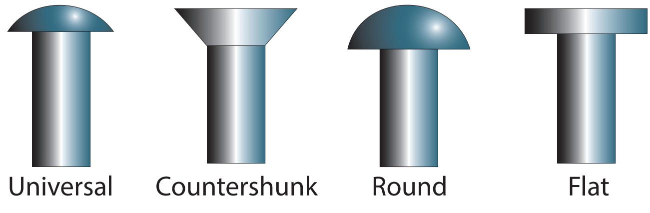
  Brazier head rivet memiliki kepala kulit lembaran tipis. *Rivet* jenis ini memiliki sedikit hambatan terhadap aliran udara sehingga sering digunakan untuk menyambung kulit pada permukaan luar, terutama di bagian belakang badan pesawat dan *empennage*.

- Kepala universal (*universal head*)

  Universal head rivet adalah kombinasi dari *round head rivets*, *flat head rivet*, dan *brazier head rivet*. *Rivet* ini digunakan dalam konstruksi dan perbaikan pesawat di bagian interior dan eksterior. Jika perlu penggantian, untuk *rivet* berkepala menonjol, yaitu *round head rivet*, *flat head rivet*, dan *brazier head rivet*, semua dapat diganti dengan *universal head rivet*.

- Kepala *countersunk* (*countersunk head*)

  Countersunk head rivet memiliki bagian atas datar dan miring ke arah *shank*, sehingga pas dengan lubang *countersunk* dan rata dengan permukaan material.



Gambar 6.26 Lima jenis kepala *solid shank rivet*
(Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook-General, 2018)

b. ***Rivet* khusus (*blind rivet*)**; digunakan untuk menyambung bagian struktural di mana ruang kerjanya sangat terbatas dan tidak memungkinkan penggunaan sebuah *bucking bar*. Rivet ini digunakan untuk menyambung bagian pesawat yang tidak memerlukan kekuatan yang besar sebagaimana *solid shank rivet*, contohnya bagian interior dan lantai pesawat.



Gambar 6.27 *Blind/special rivet*
(Sumber: engineeringlearn.com, 2021)

2. Identifikasi *rivet*

Tanda pada kepala *rivet* berguna untuk mengklasifikasi karakteristiknya. Tanda ini bisa berupa satu titik yang menonjol ke atas (*raised teat*), dua titik yang menonjol ke atas (*two raised teats*), titik dengan lubang ke dalam (*dimple*), sepasang garis timbul (*a pair of raised dashes*), tanda "+" timbul (*raised cross*), segitiga tunggal (*single triangle*), atau garis putus-putus (*raised dash*); beberapa kepala lainnya tidak memiliki tanda. Tanda yang berbeda menunjukkan komposisi *rivet*. *Rivet* memiliki warna berbeda untuk mengidentifikasi lapisan permukaan pelindungnya

Sudut kemiringan kepala *rivet* dapat bervariasi, mulai dari 78° hingga 120°. *Rivet* 100° adalah tipe yang paling umum digunakan. *Rivet* ini digunakan untuk mengikat lembaran yang harus dipasang pada lembaran lain. *Rivet* ini juga digunakan pada permukaan luar pesawat karena memiliki sedikit hambatan terhadap *slipstream* dan membantu meminimalkan aliran udara turbulen. Tanda di kepala *rivet* menunjukkan material dan kekuatannya.

Tabel 6.1 Identifikasi tanda kepala *rivet* dan material pembuatnya

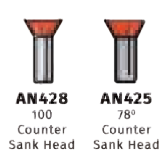
Material	Head Marking	AN Material Code	AN425 78° Counter-sunk Head	AN426 100° Counter-sunk Head MS20426*	AN427 100° Counter-sunk Head MS20427*	AN430 Round Head MS20470*	AN435 Round Head MS20613* MS20615*	AN441 Flat Head	AN442 Flat Head MS20470*	AN455 Brazier Head MS20470*	AN456 Brazier Head MS20470*	AN470 Universal Head MS20470*	Heat Treat Before Use	Shear Strength psi	Bearing Strength psi
1100	Plain	A	X	X		X			X	X	X	X	No	10,000	25,000
2117T	Recessed Dot	AD	X	X		X			X	X	X	X	No	30,000	100,000
2017T	Raised Dot	D	X	X		X			X	X	X	X	Yes	34,000	113,000
2017T-HD	Raised Dot	D	X	X		X			X	X	X	X	No	38,000	126,000
2024T	Raised Double Dash	DD	X	X		X			X	X	X	X	Yes	41,000	136,000
5056T	Raised Cross	B		X		X			X	X	X	X	No	27,000	90,000
7075-T73	Three Raised Dashes		X	X		X			X	X	X	X	No		
Carbon Steel	Recessed Triangle				X		X MS20613*	X					No	35,000	90,000
Corrosion Resistant Steel	Recessed Dash	F			X		X MS20613*						No	65,000	90,000
Copper	Plain	C			X		X	X					No	23,000	
Monel	Plain	M			X			X					No	49,000	
Monel (Nickel-Copper Alloy)	Recessed Double Dots	C					X MS20615*						No	49,000	
Brass	Plain						X MS20615*						No		
Titanium	Recessed Large and Small Dot			MS20426									No	95,000	

* New specifications are for design purposes.

(Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook-General, 2018)

Tabel 6.1 mengidentifikasi tanda kepala *rivet* dan bahan pembuatnya. Meskipun ada tiga bahan yang diinformasikan dalam *plain head*, dapat dibedakan berdasarkan warnanya. Material 1100 adalah warna aluminium, *rivet* dari baja ringan (*mild steel*) ditunjukkan dengan warna baja yang khas, dan *rivet* dari tembaga (*cooper*) ditunjukkan dengan warna tembaga.

Setiap jenis rivet diidentifikasi dengan nomor komponennya, sehingga pengguna dapat memilih *rivet* yang tepat untuk pekerjaannya. Jenis kepala *rivet* dapat dikenali melalui nomor standar AN atau MS. Nomor yang tertera adalah nomor seri dan setiap seri mewakili tipe kepala tertentu. Berikut nomor seri dan jenis kepala yang paling umum ditemui.



1. AN426 atau MS20426 - *countersunk head rivets* (100°)



2. AN430 atau MS20430 - *roundhead rivets*

	**3.** AN441 - *flathead rivets*
	**4.** AN456 - *brazier head rivets*
	**5.** AN470 atau MS20470 - *universal head rivets*

Gambar 6.28 Nomor seri dan jenis kepala *rivet*

Ada juga huruf dan angka yang ditambahkan ke *part numbers* (nomor komponen atau nomor suku cadang). Huruf-huruf tersebut menunjukkan konten paduan, sedangkan angka menunjukkan diameter dan panjang *rivet*. Huruf-huruf yang umum digunakan untuk penunjukan paduan adalah:

a. A = aluminium paduan (*aluminum alloy)*, komposisi 1100 atau 3003

b. AD = aluminium paduan (*aluminum alloy*), komposisi 2117-T

c. D = aluminium, komposisi 2017-T

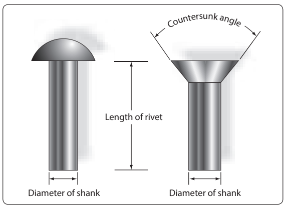
d. DD = aluminium paduan (*aluminum alloy*), komposisi 2024-T

e. B = aluminium paduan (*aluminum alloy*), komposisi 5056

f. C = tembaga (*copper*)

g. M = monel

Tidak adanya huruf setelah nomor standar AN menunjukkan *rivet* terbuat dari baja ringan (*mild steel*). Angka pertama setelah huruf komposisi bahan menyatakan diameter *rivet* dalam per 32 inci, contohnya 3 menunjukkan 3/32, 5 menunjukkan 5/32, dan seterusnya.



Gambar 6.29 Metode pengukuran *rivet*
(Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook-General, 2018)

Angka terakhir dipisahkan oleh tanda hubung dari angka sebelumnya, menyatakan panjang *rivet* dalam per 16 inci, contohnya 3 menunjukkan 3/16, 7 menunjukkan 7/16, 11 menunjukkan 11/16, dan seterusnya.

Contoh tanda identifikasi *rivet* adalah:

AN470AD3-5 ► AN = Air Force Navy

470 = *universal head rivet*

AD = 2117-T *aluminum alloy*

3 = 3/32 *in diameter*

5 = 5/16 *in length*

G. *Springs and Bearings*

1. Pegas *(Spring)*

Pegas adalah benda elastis yang digunakan untuk menyimpan energi mekanik. Pegas biasanya terbuat dari baja yang dikeraskan. Untuk memenuhi banyak permintaan, pegas dibuat dalam berbagai bentuk dan ukuran. Pegas dapat dibelit, ditarik, atau diregangkan dan dapat kembali ke bentuk aslinya.

Pegas dalam permesinan umumnya terbuat dari baja. Namun, ada juga logam nonbesi (perunggu fosfor dan titanium) yang dipakai untuk bagian yang memerlukan ketahanan korosi dan tembaga berilium untuk pegas yang membawa arus listrik (karena hambatan listriknya rendah).

Ketika pegas dikompresi atau diregangkan, gaya yang diberikan sebanding dengan perubahan panjangnya. Laju atau konstanta pegas adalah perubahan gaya yang diberikannya dibagi dengan perubahan defleksi pegas.

Kegunaan pegas yaitu:

a. Untuk menyimpan energi.

b. Untuk mengimbangi suatu berat/beban atau daya dorong (gravitasi, hidrolik, dll.), sehingga pegas pada umumnya disebut pegas penyeimbang.

c. Untuk memelihara kesinambungan elektrik.

d. Untuk mengembalikan suatu komponen ke posisi aslinya setelah penggantian.

e. Untuk mengurangi guncangan atau dampak secara berangsur-angsur dan mengecek gerakan dari suatu pergerakan berat.

Ada tiga tipe dasar pegas, yaitu pegas datar, pegas spiral, dan pegas ulir/heliks. Berikut akan kita bahas satu per satu.

a. Pegas datar *(flat springs)*

Pegas datar pada awalnya dikembangkan dari potongan baja pegas persegi panjang datar. Bentuknya bervariasi tetapi biasanya ditemukan sebagai pegas datar tunggal (*single flat spring*). Titik pemutus kontak pegas (*contact breaker points spring*) pada magneto pesawat adalah contoh pegas datar.



Gambar 6.30 *Flat springs*
(Sumber: Alsco Company, 2016)

b. Pegas spiral *(spiral springs)*

Pegas spiral dikenal sebagai pegas motor atau pegas daya (*power spring*). Pegas spiral ditemukan pada instrumen analog, contohnya sebagai penggerak jarum pada jam analog.



Gambar 6.31 *Spiral springs*
(Sumber: Tianjin Xsucceed Trade, 2021)

c. *Helical compression and tension springs*

Jenis pegas yang paling umum adalah *helical wound spring*. Pegas ini dapat digunakan untuk gaya tekan atau gaya tarik. Pegas ini tersedia dalam berbagai ukuran dan bahan serta digunakan dalam berbagai aplikasi. *Helical springs* yang digunakan untuk gaya tarik sama dengan yang digunakan untuk gaya tekan. Perbedaannya adalah pegas gaya tarik biasanya memiliki kait

atau *loop* di setiap ujungnya sehingga bisa dipasang dan ditarik. Pegas katup *engine reciprocating* adalah contoh *helical compression springs*. Ketika pegas ini digunakan berpasangan, satu pegas diletakkan di dalam, sementara pegas lain dililitkan ke arah yang berlawanan.



Gambar 6.32 *Helical compression springs & tension springs*
(Sumber: Yuoqing Dofo Spring Manufacturing, 2020)

d. *Helical torsion springs*

Helical torsion springs juga digulung seperti *helical tension* dan *compression springs*. Pegas ini memiliki ujung berbentuk khusus yang dapat menyerap gaya torsi saat diterapkan.



Gambar 6.33 *Helical torsion springs*
(Sumber: MW Components, 2022)

2. Bantalan (*Bearings*)

Bantalan secara umum dikelompokkan berdasarkan bentuk elemen gelinding dalam konstruksinya, yaitu bantalan bola dan bantalan rol. Bantalan bola (*ball bearings*) menggunakan bola baja yang berputar di jalurnya yang berlekuk. Sedangkan bantalan rol (*roller bearings*) menggunakan rol silinder, meruncing, dan bulat yang berjalan di jalurnya

yang bentuknya sesuai. *Ball bearings* dan *tapered roller bearings* menerima beban radial dan aksial, sedangkan jenis lainnya hanya dapat menerima beban radial.



Gambar 6.34 Jenis-jenis bantalan
(Sumber: learnengineering.net, 2022)

a. Bantalan bola *(ball bearing)*

Bantalan bola terdiri atas alur dalam dan luar yang dipisahkan oleh bola baja. Klasifikasi bantalan bergantung pada gerakan bola untuk mengurangi gesekan antara alur dalam yang dibawa pada poros mesin dan alur luar yang biasanya dipasang di dalam rumah stasioner mesin. Bantalan dapat dibuat dengan menggunakan baris bola tunggal atau ganda, setiap baris dikendalikan oleh sangkar perunggu atau kuningan.

Bantalan bola dirancang untuk beban radial atau *thrust*, atau kombinasi keduanya dan dapat beroperasi pada salah satu arah putaran. Bantalan bola dapat berbentuk kaku atau dapat diatur sesuai kebutuhan yang ditentukan saat pembuatan.



Gambar 6.35 *Ball bearings*
(Sumber: USA Roller Chain, 2022)

Bantalan bola terbagi atas empat jenis utama yang menentukan cara penggunaannya, yaitu:

1. Bantalan radial (*radial bearings*)
2. Bantalan kontak sudut (*angular-contact bearings*)
3. Bantalan dorong (*thrust bearings*)
4. Bantalan presisi instrumen (*instrument precision bearings*)



Gambar 6.36 *Radial ball bearing*
(Sumber: MSC Industrial Direct, 2021)



Gambar 6.37 *Angular-contact bearings*
(Sumber: bearingthailand.com, 2020)



Gambar 6.38 *Thrust bearings*
(Sumber: amazon.com/VXB, 2009)

b. Bantalan rol (*roller bearings*)

Bantalan rol terdiri atas alur dalam dan luar yang dipisahkan oleh *roller* baja yang diperkeras sebagai penganti bola. Biasanya hanya digunakan untuk mendukung beban radial, tetapi dapat dirancang pula untuk mengompensasi ekspansi *linier shaft* atau *housing*, dengan memastikan bahwa alur dalam dan luar benar-benar sejajar.

Lokasi dan kontrol *roller* dicapai dengan potongan alur di bagian dalam atau luar yang berfungsi sebagai relung untuk *roller*. Pengaturan ini memungkinkan *roller* untuk melakukan ekspansi lateral poros dengan meluncur melintasi permukaan selama rotasi.

Bantalan rol terbagi atas tiga jenis utama yang menentukan penggunaannya, yaitu:

1. *Cylindrical roller bearings*

Bantalan rol silinder (*cylindrical roller bearings*) akan menerima beban radial yang lebih besar daripada bantalan bola lainnya dengan ukuran yang sama. Hal ini disebabkan oleh area kontak yang lebih besar dari *rolling elements* dan jika memiliki rusuk pada kedua cincin, *cylindrical roller bearings* juga akan menerima beban aksial yang ringan dan terputus-putus.

Biasanya *roller* memiliki panjang yang sama dengan diameternya, meskipun ada beberapa yang panjangnya melebihi dari diameternya untuk memenuhi aplikasi khusus, biasanya disebut bantalan rol jarum (*needle roller bearings*). Bantalan ini dirancang untuk beban radial saja dan paling baik digunakan dalam gerakan berosilasi daripada berputar seperti pada sambungan universal dan ujung batang kendali.



Gambar 6.39 *Cylindrical roller bearings*
(Sumber: kugellager-express.de, 2022)

2. *Spherical roller bearings*

Bantalan rol bulat (*spherical roller bearings*) dapat ditemukan dengan satu atau dua baris *roller* yang berjalan di jalur *spherical* di cincin luar (*outer ring*), sehingga memungkinkan bantalan menerima tingkat ketidaksejajaran yang kecil. Bantalan ini akan menerima beban radial tinggi dan beban aksial sedang.



Gambar 6.40 *Spherical roller bearing*s
(Sumber: kugellager-express.de, 2022)

3. *Tapered roller bearings*

Tapered roller bearing terdiri atas bagian dalam berbentuk kerucut dan bagian luar berbentuk cangkir. Bentuk *rollers* meruncing dan terbuat dari baja yang dikeraskan.



Gambar 6.41 *Tapered roller bearing*
(Sumber: kugellager-express.de, 2022)

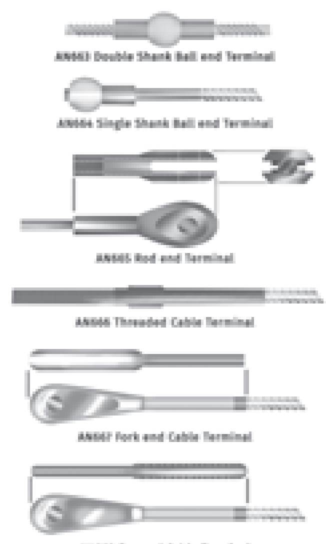
Jenis bantalan ini dapat mendukung beban radial dalam satu arah saja. Oleh karena itu, jenis bantalan ini sering dipasang dua baris bantalan individu, setiap baris menggunakan *race* dalam dan luar yang sama, tetapi dengan arah berlawanan di mana sisi lancip pada *roller* mengarah ke dalam sehingga memungkinkan *roller* menahan beban radial di kedua arah.

H. Sistem Transmisi dan Kabel Kontrol

1. *Cable Fittings*

Kabel dapat dilengkapi dengan beberapa jenis alat kelengkapan yang berbeda, seperti *terminals*, *thimbles*, *bushings*, dan *shackles*. *Terminal fittings* umumnya dari tipe *swaged*. Terminal ujung berulir (*threaded end*), ujung garpu (*fork end*), dan ujung lancip (*eye end*) digunakan untuk menghubungkan kabel ke *turnbuckle*, *bellcrank*, atau tautan lain dalam sistem.

Terminal ujung bulat (*ball end*) digunakan untuk memasang kabel ke kuadran dan koneksi khusus di ruang terbatas. Gambar 6.42 mengilustrasikan berbagai jenis alat kelengkapan terminal. *Fittings thimble*, *bushing*, dan *shackle* dapat digunakan sebagai pengganti beberapa jenis alat kelengkapan terminal bila fasilitas dan persediaan terbatas dan kabel perlu segera diganti.

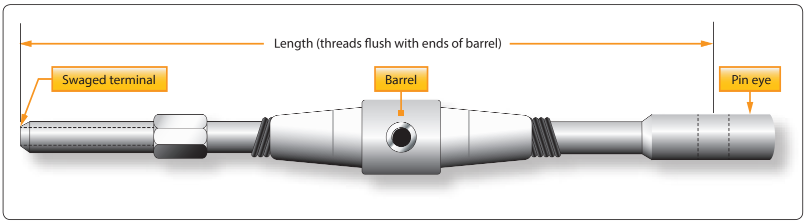


Gambar 6.42 *Tipe terminal fittings*

2. *Turnbuckle*

Turnbuckle adalah perangkat sekrup mekanis yang terdiri atas dua terminal berulir dan laras berulir. *Turnbuckle* dipasang pada unit kabel untuk membuat sedikit penyetelan pada panjang kabel dan untuk menyetel

tegangan kabel. Salah satu terminal memiliki ulir kanan dan terminal lainnya memiliki ulir kiri. Laras (*barrel*) memiliki ulir dalam kanan dan kiri yang sesuai. Ujung *barrel* dengan ulir kiri biasanya dapat diidentifikasi dengan alur (*groove*) atau *knurl* di sekitar ujung *barrel* itu. Saat memasang *turnbuckle* dalam sistem kontrol, kedua terminal perlu disekrup dengan jumlah putaran yang sama ke dalam *barrel*.



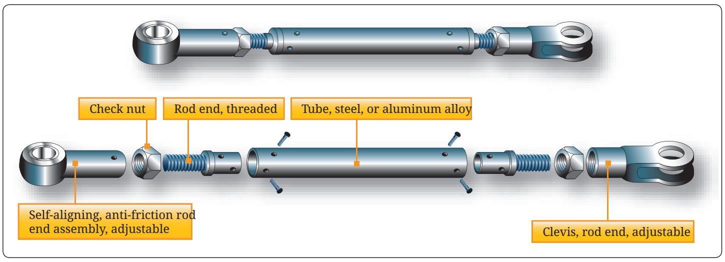
Gambar 6.43 *Typical turnbuckle assembly*
(Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook-General, 2018)

Juga penting bahwa semua terminal *turnbuckle* disekrup ke dalam *barrel* sampai tidak lebih dari tiga ulir terlihat di kedua sisi *barrel*. Setelah *turnbuckle* disetel dengan benar, harus diamankan.

3. *Push-Pull Tube Linkage*

Pipa tekan tarik (*push-pull tubes*) digunakan sebagai penghubung dalam berbagai jenis sistem yang dioperasikan secara mekanis. Penghubung jenis ini meminimalkan masalah variasi tegangan tarik dan memungkinkan transfer tegangan kompresi atau tegangan tarik melalui tabung tunggal.

Push-pull tube assembly terdiri atas aluminium paduan berongga atau tabung baja dengan ujung *fitting* yang dapat disetel dan sebuah *checknut* di kedua ujungnya. *Checknuts* mengamankan ujung *fitting* setelah *push-pull tube* disetel untuk mendapatkan panjang yang sesuai. *Push-pull tubes* umumnya dibuat pendek untuk mencegah getaran dan gaya bengkok (*bending*) akibat beban kompresi.



Gambar 6.44 *Push-pull tube assembly*
(Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook-General, 2018)

I. Kabel Listrik dan Konektor

1. Jenis Kabel (*Wire Type*)

Kinerja yang memuaskan dari setiap pesawat modern sangat bergantung pada sistem dan subsistem kelistrikannya. Kabel yang tidak dirawat dengan benar atau sembarangan berpotensi menjadi sumber bahaya.

Kabel digambarkan sebagai konduktor padat tunggal atau konduktor pilin yang dilapisi bahan isolasi. Gambar 6.45 mengilustrasikan dua definisi kabel ini. Karena getaran dan pelenturan dalam penerbangan, konduktor kabel harus dipilin untuk meminimalkan kerusakan akibat kelelahan.

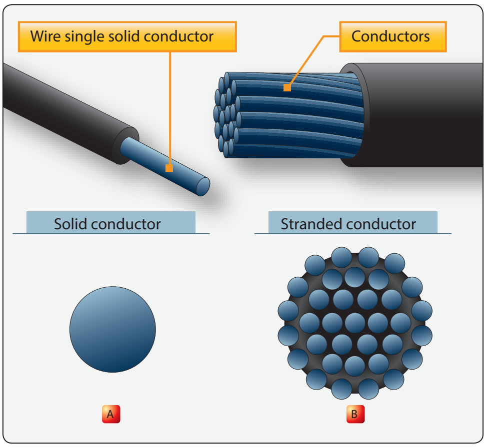
Istilah kabel dalam instalasi listrik pesawat terbang meliputi:

a. Dua atau lebih konduktor berinsulasi terpisah dalam selubung yang sama.

b. Dua atau lebih konduktor berinsulasi terpisah yang dipilin bersama (pasangan terpilin).

c. Satu atau lebih konduktor berinsulasi yang ditutup dengan pelindung jalinan logam (kabel berpelindung).

d. Konduktor tengah berinsulasi tunggal dengan konduktor luar jalinan logam (kabel frekuensi radio).



Gambar 6.45 *Aircraft electrical cable*
(Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 1, 2018)

Istilah kabel pengikat (*wire harness*) digunakan jika rangkaian konduktor berinsulasi diikat bersama dengan kabel pengikat, pita logam, atau pengikat lainnya secara khusus.



Gambar 6.46 *Aircraft wire harness*
(Sumber: Aero Expo/Seca, 2022)

Kabel *harness* seperti pada gambar di atas banyak digunakan di pesawat untuk menghubungkan semua komponen listrik.

2. Isolasi (*Insulation*)

Jenis bahan isolasi konduktor bervariasi dengan jenis pemasangannya. Karakteristik harus dipilih berdasarkan lingkungan, seperti ketahanan abrasi, ketahanan busur, ketahanan korosi, kekuatan *cut-through*, kekuatan dielektrik, tahan api, kekuatan mekanik, emisi asap, ketahanan fluida, dan distorsi panas.

3. Identifikasi Kabel (*Wire Identification*)

Identifikasi yang tepat dari kabel listrik, kabel sirkuit, dan tegangan (*voltages*) diperlukan demi keselamatan pengoperasian, keselamatan bagi personel pemeliharaan, dan kemudahan kerja pemeliharaan. Semua kabel yang digunakan di pesawat harus memiliki identifikasi berupa nomor seri (*part number*) yang tercetak di sepanjang kabelnya. Dengan begitu, kalian dapat mengidentifikasi kapabilitas kinerja kabel terpasang yang perlu kalian ganti dan menghindari penggunaan kabel berkinerja rendah dan kabel pengganti yang tidak sesuai.

Tanda identifikasi harus ditempatkan di setiap ujung kabel dengan interval maksimum 15 inci di sepanjang kabel. Kabel yang panjangnya kurang dari 3 inci tidak perlu diidentifikasi. Kabel dengan panjang 3 hingga 7 inci harus diidentifikasi di bagian tengah kabel. Selubung (*sleeve*) penanda identifikasi yang ditambahkan harus ditempatkan sedemikian rupa sehingga ikatan, klem, atau perangkat pendukung tidak perlu dilepas untuk membaca identifikasi. Kode identifikasi kabel harus dicetak untuk dibaca secara horizontal (dari kiri ke kanan) atau vertikal (dari atas ke bawah).

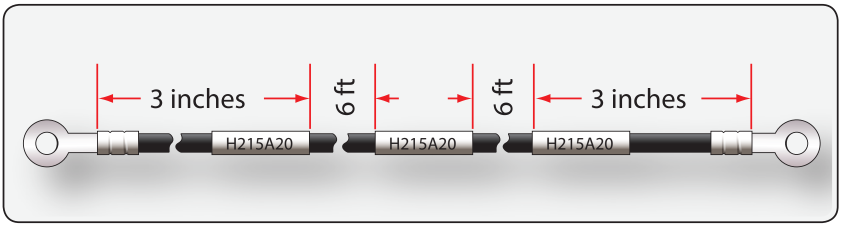
Dua metode penandaan kabel:

1. Penandaan langsung; penanda dicetak pada penutup luar kabel.

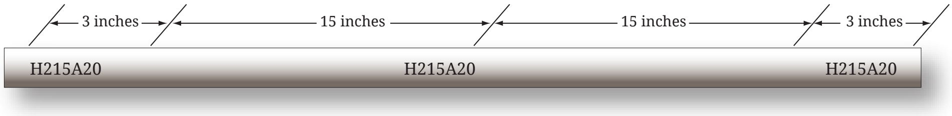


Gambar 6.47 Beberapa kabel dalam satu selubung
(Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 1, 2018)

2. Penandaan tidak langsung; penanda dicetak pada selubung yang dapat menyusut kemudian dipasangkan pada penutup luar kabel. Kabel yang diberi penanda tidak langsung harus diidentifikasi melalui cetakan di selubungnya dengan interval tidak lebih dari 6 kaki.



Gambar 6.48 Jarak tanda identifikasi yang dicetak (penandaan tidak langsung)
(Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 1, 2018)



Gambar 6.49 Kabel tunggal tanpa selubung
(Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 1, 2018)

J. Aircraft Tools

Pelaksanaan pemeliharaan dan perbaikan pesawat udara memerlukan sejumlah alat atau perangkat kerja. Apa saja jenis, fungsi, dan cara kerja dari alat-alat atau perangkat kerja tersebut?

Berdasarkan fungsi dan cara kerjanya, *aircraft tools* terbagi menjadi dua kategori, yaitu alat-alat kerja dasar (*general tools*) dan alat-alat kerja khusus (*special tools*). Berdasarkan sifatnya *aircraft tools* terbagi menjadi

dua kategori, yaitu alat-alat kerja yang tidak memerlukan kalibrasi (non-*calibrated tools*) dan alat-alat kerja yang membutuhkan kalibrasi (*calibrated tools*) secara berkala.

1. Alat-Alat Kerja Umum

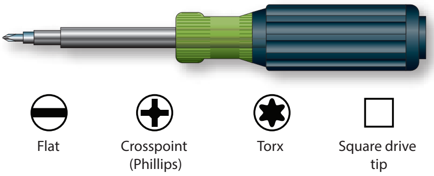
Alat-alat kerja dasar atau umum (*basic or general tools*) sangat dibutuhkan guna mendukung pekerjaan teknik atau pertukangan apa pun. *General tools* terdiri atas obeng, palu, tang, *punch*, *impact drive*, kunci pas, dan sebagainya.



Gambar 6.50 Alat-alat dasar teknik
(Sumber: Teng Tools, 2019)

a. Obeng

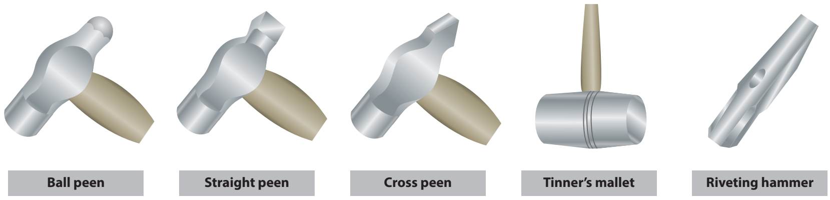
Obeng berfungsi untuk melonggarkan atau mengencangkan sebuah sekrup atau baut kepala sekrup. Bentuk, jenis bilah, dan panjang bilah obeng sangat bervariasi.



Gambar 6.51 Obeng dan bentuk-bentuk kepala sekrup
(Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook-General, 2018)

b. Palu

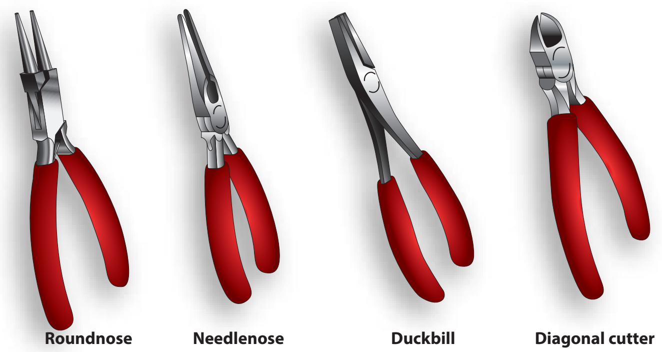
Palu atau martil digunakan untuk memukul suatu permukaan benda dengan tujuan tertentu. Palu tak hanya terbuat dari logam. Palu berbahan lunak juga tersedia, terbuat dari kayu, kuningan, timah, kulit mentah, karet keras, atau plastik. Palu berbahan lunak digunakan untuk memukul atau membentuk benda kerja berbahan lunak juga. Palu jenis ini tidak boleh digunakan untuk memukul kepala baut atau paku, karena palu akan cepat rusak.



Gambar 6.52 Jenis-jenis kepala palu
(Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook-General, 2018)

c. Tang

Tang (*plier*) digunakan untuk menjepit, memotong kawat atau kabel, menekuk, membengkokkan dan memuntir pelat, dan sebagainya.



Gambar 6.53 Jenis-jenis tang
(Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook-General, 2018)

d. *Punches*

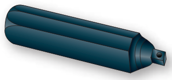
Punches atau penusuk salah satu fungsinya untuk membuat tanda atau titik khusus, seperti titik pusat lingkaran, titik lubang untuk pengeboran, dan titik lubang pada lembaran logam.



Gambar 6.54 Jenis-jenis *punches*
(Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook-General, 2018)

e. *Impact Drive*

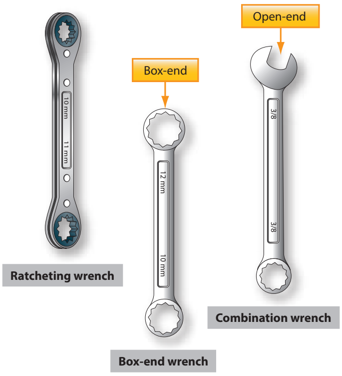
Impact drive dibutuhkan untuk meneruskan pukulan. Bekerja dengan bantuan palu, *impact drive* memberikan torsi yang tinggi dalam bentuk benturan tajam guna melepaskan pengikat yang sulit.



Gambar 6.55 *Impact drive*
(Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook-General, 2018)

f. *Wrench set*

Wrench set atau dikenal sebagai kunci-kunci pas, umumnya digunakan untuk mengencangkan dan mengendurkan baut dan mur ataupun *stud*. Kunci pas paling sering digunakan pada pekerjaan perawatan pesawat.

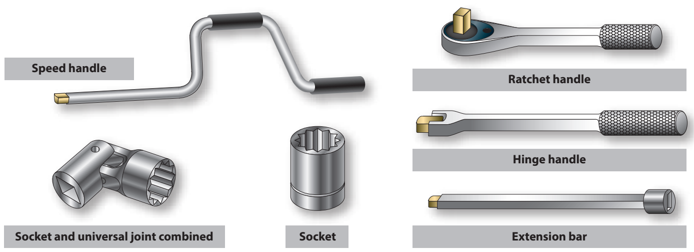


Gambar 6.56 Jenis-jenis kunci pas
(Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook-General, 2018)

Kunci pas terbagi menjadi beberapa jenis, yaitu *open wrench* (kunci pas terbuka), *box wrench* (kunci pas tertutup), *socket wrench* (kunci pas soket),

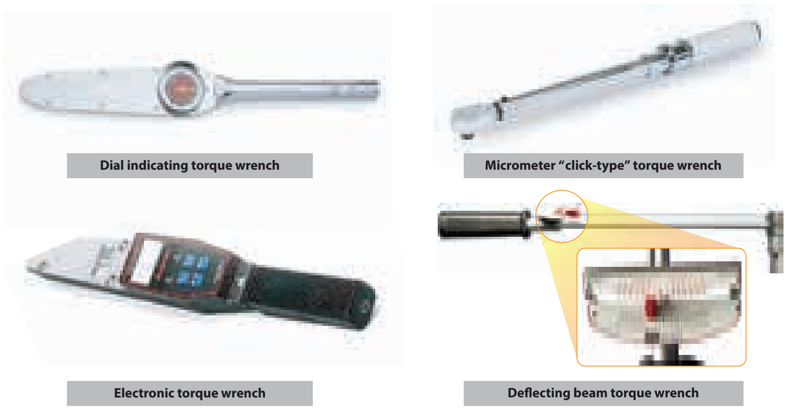
adjustable wrench (kunci pas yang dapat disesuaikan), *ratcheting*, dan kunci pas *allen* yang diperlukan untuk pengerjaan jenis sekrup khusus.

1. *Ratchet* digunakan untuk mengencangkan atau mengendurkan baut dan mur ataupun *stud*. *Rachet* digunakan untuk area kerja yang sempit dan sulit dengan menggunakan *extension bar*.



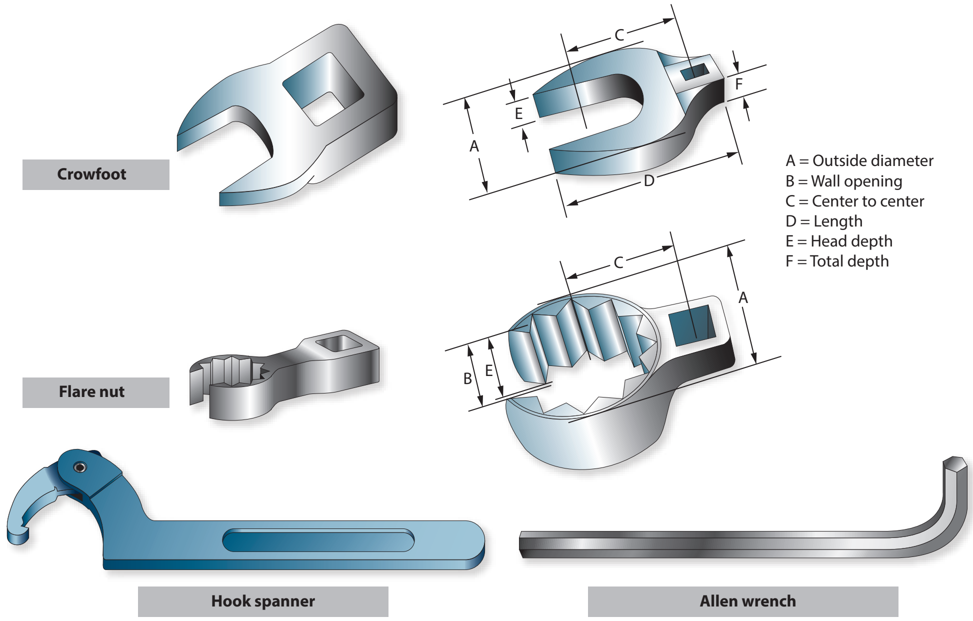
Gambar 6.57 Satu set *ratchet*
(Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook-General, 2018)

2. *Torque wrench* ialah kunci pas yang dilengkapi indikator nilai momen atau torsi (*torque*). Nilai torsi terkadang diperlukan saat pemasangan baut dan mur. *Torque wrench* termasuk dalam kategori alat ukur yang perlu dirawat sehingga perlu dilakukan kalibrasi secara berkala.



Gambar 6.58 *Torque wrench set*
(Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook-General, 2018)

3. *Special wrench* atau kunci pas khusus, terdiri atas *crowfoot, flarenut, spanner, torque,* dan *allen wrenches*. Alat-alat *special wrench* ini berguna untuk jenis pengerjaan yang sama dengan *basic wrench*, namun dikhususkan pada pekerjaan-pekerjaan tertentu, seperti pada akses yang sulit dijangkau dan bentuk baut atau mur yang khusus.



Gambar 6.59 *Special wrench set*

(Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook-General, 2018)

g. *Twister and Wire*

Twister adalah alat untuk membuat puntiran pada kawat (*wire*), bertujuan untuk mengikat beberapa *bolt*, *nut*, dan *stud* dan sebagai pengunci (*locking*) atau pengaman.



Gambar 6.60 *Twister set*

(Sumber: AliExpress/MAY OO Store, 2022)

Wire atau kawat berfungsi sebagai pengikat atau pengaman pada beberapa *bolt, nut, dan stud* agar tidak lepas atau kendur. Kawat ini lebih dikenal sebagai *locking wire* atau *safety wire*.

h. Bor

Terdapat empat jenis bor (*drills*), yakni bor tangan (*hand drill*), bor dada (*breast drill*), bor listrik (*electric drill*), dan bor pneumatik (*pneumatic drill*).

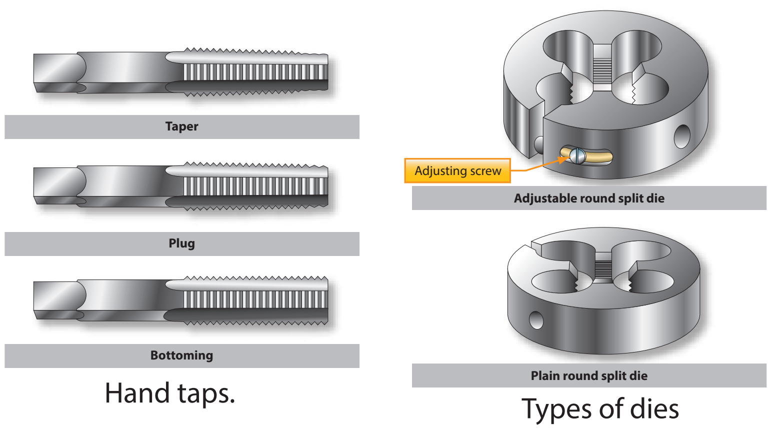


Gambar 6.61 *Breast, electric, dan pneumatic drill types* (dari kiri ke kanan)

(Sumber: manufactum.com, 2022) (Sumber: malls-365.xyz, 2022) (Sumber: Toolstop/Makita, 2022) (Sumber: aldi.co.uk, 2018)

i. *Tap and Dies*

Tap digunakan untuk membuat ulir bagian dalam (*internal threads*) suatu lubang, sedangkan *dies* digunakan untuk membuat ulir bagian luar (*external threads*) suatu batang bulat. Keduanya terbuat dari baja temper keras (*hard tampered steel*).



Gambar 6.62 *Hand tap and dies types*
(Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook-General, 2018)

j. Pahat

Pahat (chisel) adalah pemotong baja yang dikeraskan untuk memotong logam apa pun yang lebih lunak daripada pahat itu sendiri, misalnya kawat, tali besi (*strap iron*), *bars*, dan *rods*. Pahat terbuat dari batang baja yang dikeraskan dan ditempa. Pahat memiliki ukuran lebar dan panjang yang bervariasi.

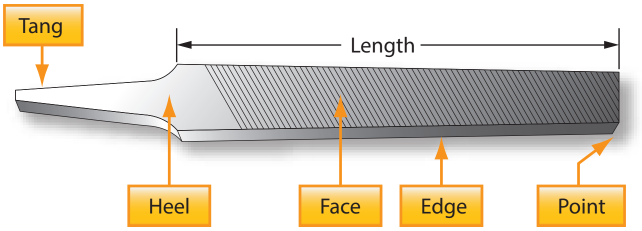


Gambar 6.63 Jenis-jenis pahat
(Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook-General, 2018)

k. Kikir

Kikir *(file)* terbuat dari baja bermutu tinggi yang dikeraskan dan ditempa. Kikir tersedia dalam berbagai bentuk dan ukuran untuk berbagai jenis pekerjaan dan bahan. Penampang kikir ada yang melintang dan ada yang berbentuk umum (*general shape*).

Kikir digunakan untuk menghaluskan permukaan ujung persegi, membuat sudut membulat, menghilangkan sisa pengerjaan gerinda dan irisan dari logam, meluruskan tepi yang tidak rata, menghaluskan tepian yang kasar, serta mengikir lubang dan slot.



Gambar 6.64 Bagian-bagian kikir
(Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook-General, 2018)

l. Alat potong

Alat potong (*cutting tools*) diperlukan untuk berbagai jenis pekerjaan. Jenis alat potong meliputi *handsnips, handsaw, hacksaw,* dan *table saw*.

1. Gergaji tangan (*handsaw*) dan gergaji lubang (*keyhole saw*) dibutuhkan untuk memotong atau membuat lubang atau irisan pada lembaran tripleks atau plastik sesuai dimensi yang dibutuhkan.



Gambar 6.65 Gergaji lubang dan gergaji tangan

(Sumber: mis-tools.com, 2021) (Sumber: freepngimg.com/Alexis Bailey, 2016)

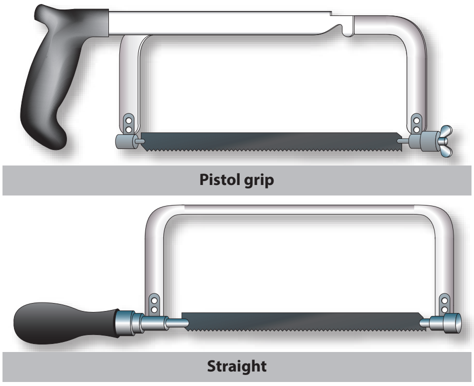
2. *Handsnips* dirancang khusus untuk memotong *aluminum alloy* dan *stainless steel*, tidak boleh digunakan untuk memotong lembaran logam berat. Selain itu, *handsnips* juga digunakan untuk memperbesar lubang dan memotong bagian dalam bentuk kurva tertentu atau lingkaran.



Gambar 6.66 *Handsnips*

(Sumber: ubuy.co.id/Yun Chang, 2021)

3. *Hacksaw* adalah alat gergaji berlubang atau gergaji besi biasa yang memiliki bilah, bingkai, dan pegangan. Tersedia dalam dua model pegangan, yaitu bentuk pistol dan lurus. Pisau gergaji besi memiliki lubang di kedua ujungnya dan dipasang pada pin ke bingkai.



Gambar 6.67 *Hacksaw*

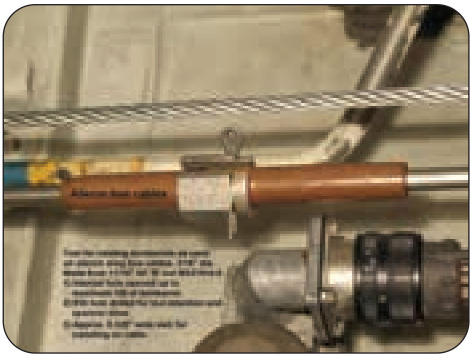
(Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook-General, 2018)

2. Alat-Alat Kerja Khusus

Perkakas khusus (*special tools*) juga dibutuhkan untuk mendukung pekerjaan teknik yang tidak umum. *Special tools* ini biasanya dibuat pabrik untuk pengerjaan benda kerja atau komponen yang diproduksi oleh pabrikan tersebut. Dapat dikatakan bahwa jenis, model, fungsi, dan cara kerja dari suatu *special tools* sangat bergantung pada benda kerja yang dibuat oleh pabrik dan tidak dapat digunakan untuk komponen lainnya yang bukan produksi pabrik yang dimaksud. Contoh *special tools* dapat kita lihat pada kedua gambar berikut.



Gambar 6.68 *Electronic engine turning tools*
(Sumber: olympus-ims.com, 2020)



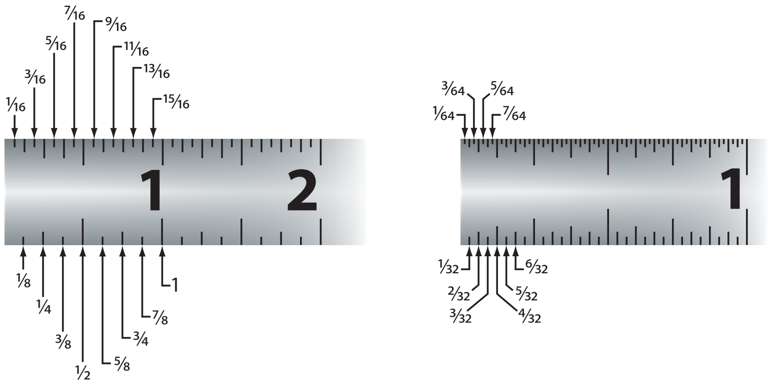
Gambar 6.69 *Cable tension*
(Sumber: sjap.nl, 2020)

3. Alat-Alat Ukur

Alat-alat ukur (*measurement tools*) penting dalam pengerjaan pemeliharaan pesawat udara. Banyak sekali jenis alat ukur di sini. Kalian akan mempelajari alat ukur yang umum saja, misalnya penggaris (*rules*), jangka sorong (*slide caliper*), mikrometer, dan *filler gauge*.

a. Penggaris

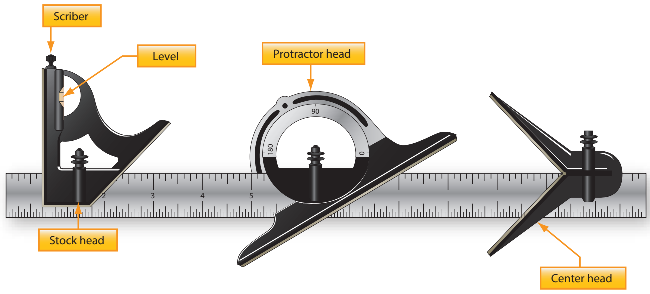
Penggaris dibuat dari baja yang kaku (*rigid*) atau lentur (*flexible*). Penggaris baja fleksibel dapat menekuk, tetapi tidak boleh sengaja dibengkokkan karena dapat patah. Dalam pengerjaan perawatan pesawat udara, satuan ukuran yang paling umum digunakan adalah inci (*inches*).



6.70 Penggaris dengan satuan inci
(Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook-General, 2018)

b. *Combination Set*

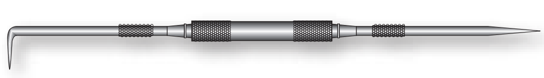
Combination set adalah alat untuk mengukur sudut dan kedalaman/ketinggian. Alat ini merupakan kombinasi beberapa alat ukur. *Combination set* terdiri atas sebuah kepala persegi, sebuah level, dan sebuah pengukur kedalaman/tinggi. Kepala *combination set* ada tiga jenis, yaitu kepala persegi, kepala busur derajat, dan *centering head*, yang bisa dipakai bergantian atau terpisah.



Gambar 6.71 *Combination set*
(Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook-General, 2018)

c. *Scriber*

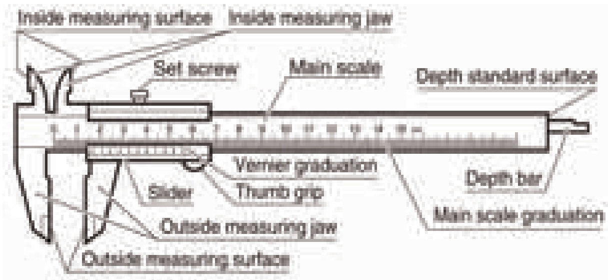
Scriber atau penggores berujung runcing mirip pensil digunakan untuk menulis/mencoret atau menandai garis pada permukaan logam. *Scriber* terbuat dari baja, panjangnya 4–12 inci. Salah satu ujungnya bersudut 90° untuk memudahkan menandai suatu lubang. Penggunaannya mirip seperti pensil.



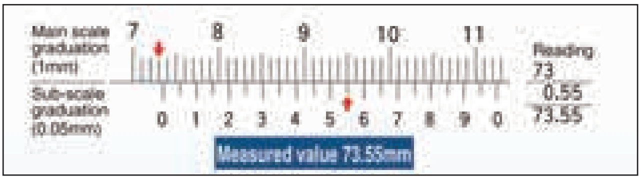
Gambar 6.72 *Scriber*
(Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook-General, 2018)

d. Jangka sorong

Jangka sorong *(slide caliper)* disebut juga sigmat, berguna untuk mengukur panjang suatu benda dengan akurasi yang lebih baik daripada penggaris biasa. Rahangnya berbentuk khusus untuk mengukur dimensi dalam maupun luar. Rahang jangka sorong menyentuh bagian dalam atau luar objek, lalu hasilnya terbaca pada skala di kaliper. Beberapa kaliper geser juga memiliki alat pengukur untuk mengukur kedalaman lubang.



Gambar 6.73 Bagian-bagian jangka sorong
(Sumber: Misumi Indonesia, 2022)



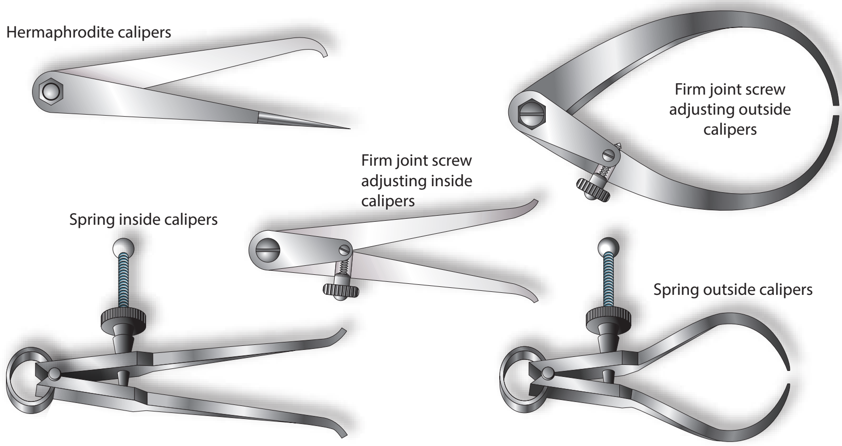
Gambar 6.74 Cara pembacaan jangka sorong
(Sumber: Misumi Indonesia, 2022)

Untuk memahami cara pengukuran jangka sorong, perhatikan Gambar 6.74. Terlihat angka 0 pada skala nonius (*sub-scale*) berada di antara 73 dan 74 mm pada skala utama (*main scale*). Lalu, garis yang tepat berimpit antara skala utama dan nonius terletak pada 5,5 di skala nonius, maka pembacaannya 5,5 x 0,1 = 0,55 mm. Jadi, pembacaan akhir adalah 73 + 0,55 = 73,55 mm.

e. Jangka

Jangka *(caliper)* digunakan untuk mengukur diameter dan jarak atau untuk membandingkan jarak dan ukuran. Tiga jenis jangka yang umum adalah jangka dalam *(inside caliper),* jangka luar *(outside caliper),* dan jangka bengkok *(hermaphrodite caliper).* Jangka dalam berkaki melengkung ke luar untuk mengukur diameter dalam, seperti diameter lubang, jarak antara dua permukaan, dan lebar slot. Sedangkan jangka luar digunakan untuk

mengukur dimensi luar, misalnya diameter benda bulat. Adapun jangka bengkok digunakan sebagai alat ukur pada pekerjaan tata letak. Jangka ini tidak boleh digunakan untuk pengukuran presisi.



Gambar 6.75 Jenis-jenis jangka
(Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook-General, 2018)

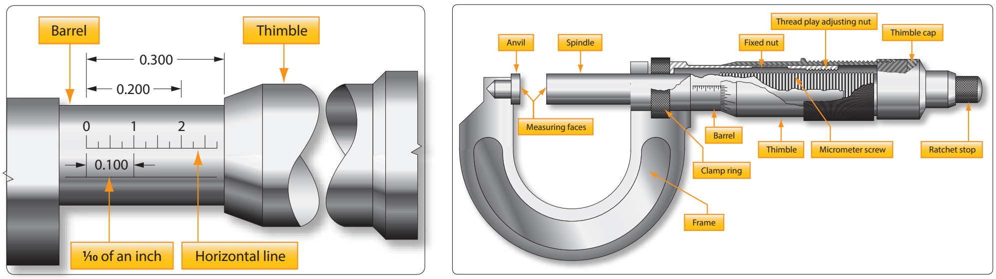
f. Mikrometer

Mikrometer adalah alat untuk mengukur diameter lubang atau poros sebuah benda. Ada empat jenis mikrometer yang masing-masing dirancang untuk penggunaan tertentu, yaitu mikrometer dalam (*inside micrometer*), mikrometer luar (*outside micrometer*), mikrometer kedalaman (*depth micrometer*), dan mikrometer ulir (*thread micrometer*). Mikrometer tersedia dalam berbagai ukuran, mulai dari 0 hingga 1⁄2 inci, 0 hingga 1 inci, 1 hingga 2 inci, 2 hingga 3 inci, dan seterusnya hingga 6 inci. Selain satuan inci, mikrometer juga tersedia dalam satuan milimeter. Mikrometer luar digunakan untuk mengukur dimensi luar poros, ketebalan lembaran logam, dan diameter bor. Mikrometer luar lebih sering digunakan pekerja daripada jenis mikrometer lainnya.

Bagian yang tetap dari mikrometer adalah *frame, barrel,* dan *anvil,* sedangkan bagian yang bergerak adalah *thimble* dan *spindle*. *Thimble* memutar *spindle* yang bergerak di bagian berulir di dalam *barrel.* Dengan memutar *thimble* memberikan celah antara *anvil* dan ujung *spindle* tempat di mana benda kerja diukur. Ukuran ditunjukkan oleh kecocokan pada *barrel* dan *thimble*.

Untuk mengukur dengan mikrometer, pegang *frame* dari mikrometer pada telapak tangan dengan jari kelingking atau jari ketiga, mana saja yang

lebih nyaman. Hal tersebut akan memungkinkan ibu jari dan telunjuk bebas memutar *thimble* untuk penyesuaian.



Gambar 6.76 Pembacaan mikrometer
(Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook-General, 2018)

Pembagian ukuran skala ditandai di setiap lima ruang dengan 0, 5, 10, 15, dan 20. Ketika 25 dari garis batas ini telah melewati garis horizontal pada *anvil, spindle* telah bergerak 0,025 inci (setelah membuat satu putaran). Mikrometer dibaca dengan terlebih dahulu mencatat gambar terakhir yang terlihat pada garis horizontal laras yang mewakili sepersepuluh inci. Tambahkan ke sepanjang *anvil* antara *thimble* dan nomor yang disebutkan sebelumnya, ini ditentukan dengan mengalikan jumlah yang diketahui dengan 0,025 inci. Tambahkan nilai jumlah *strip* pada tepi miring *thimble* yang bertepatan dengan garis yang diketahui. Total dari ketiga angka tersebut sama dengan hasil pengukurannya.

g. ***Filler gauge* (*thickness gauge*)**

Filler gauge digunakan untuk mengukur suatu celah kecil (*gap*) antara dua bagian permukaan atau benda yang bersinggungan, keausan suatu benda yang bersinggungan, dan untuk mengukur alur-alur (*groove*).



Gambar 6.77 *Filler gauge*
(Sumber: ruparupa.com, 2022)

h. Multimeter

Multimeter adalah alat uji elektronik untuk mengukur tegangan/resistensi, hambatan, dan arus listrik. Berdasarkan jenis pembacaannya, multimeter dibagi menjadi multimeter analog dan multimeter digital. Multimeter analog adalah multimeter yang pembacaannya ditunjukkan oleh jarum, sedangkan multimeter digital pembacaannya ditampilkan dengan digit angka.



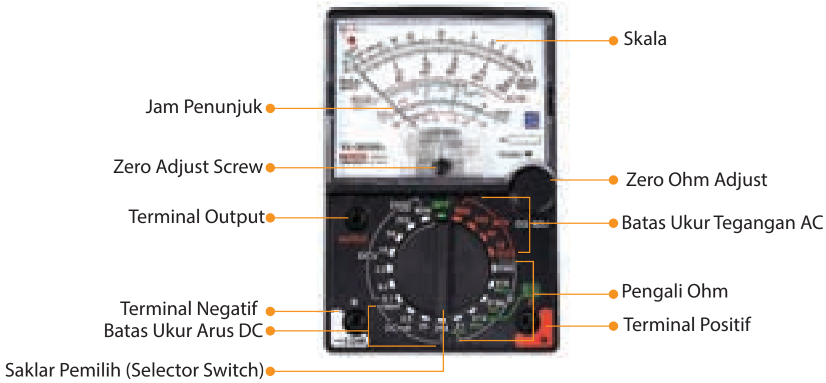


Gambar 6.78 Multimeter analog dan digital

(Sumber: darmasakti.com, 2022) (Sumber: daraz.pk, 2019)

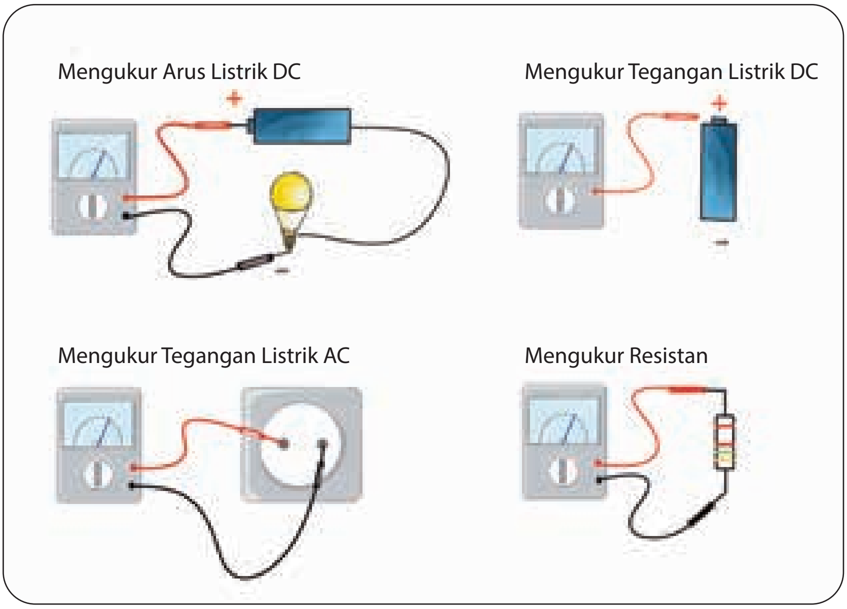
Bagian-bagian dari multimeter analog terdiri atas:

- Jarum penunjuk; menunjukkan angka hasil pengukuran.
- Skala; menampilkan angka-angka dalam berbagai satuan pengukuran.
- *Zero adjust screw*; mrmposisikan jarum penunjuk ke 0 (*zero*) untuk pengukuran tegangan dan arus listrik.
- *Zero ohm adjust*; mengatur jarum penunjuk ke 0 (*zero*) untuk pengukuran hambatan. Untuk menggunakannya harus menempelkan *probe* positif dan negatif terlebih dahulu.
- Terminal output; mengukur nilai frekuensi (dB) pada listrik AC.
- Batas ukur tegangan AC; menunjukkan batas maksimal pengukuran tegangan listrik AC.
- Batas ukur tegangan DC; menunjukkan batas maksimal pengukuran tegangan listrik DC.
- Batas ukur arus DC; menunjukkan batas maksimal pengukuran arus listrik DC.
- Pengali ohm; faktor pengali hasil pembacaan nilai hambatan listrik.
- Terminal negatif; tempat untuk memasukkan *probe* negatif.
- Terminal positif; tempat untuk memasukkan *probe* positif.
- Saklar pemilih (*selector switch*); memilih alat ukur (ACV, DCV, Ω, atau DCmA).



Gambar 6.79 Bagian-bagian multimeter analog
(Sumber: darmasakti.com, 2022)

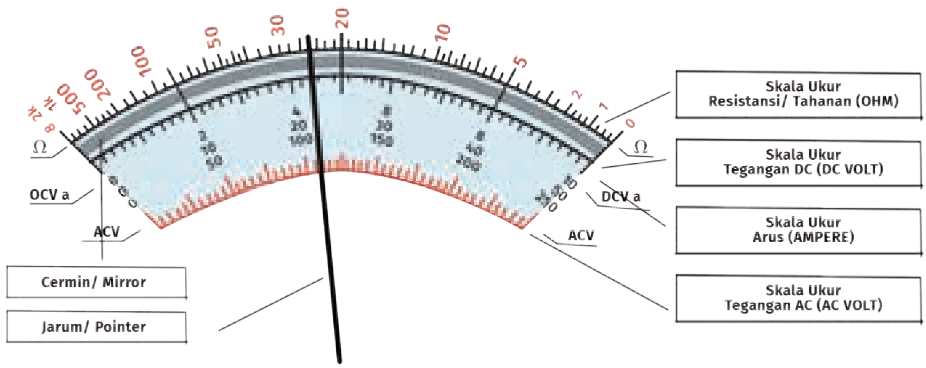
Cara menggunakan multimeter untuk berbagai pengukuran dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 6.80 Cara mengukur dengan multimeter

Misalkan kita akan mengukur tegangan sebuah baterai DC 24 Volt. Pertama, selektor diarahkan ke *range* DC volt pada angka 50 agar didapat pembacaan yang tepat. Perlu diingat, selektor harus diarahkan ke angka yang lebih tinggi atau sama dengan baterai yang harus diukur. Dalam hal ini diarahkan ke angka 50 karena yang akan kita uji adalah baterai yang tegangannya di bawah 50. *Probe* positif ditempelkan ke kutub positif baterai dan *probe* negatif ke kutub negatif baterai. Maka pembacaan sudah bisa

dilakukan. Untuk membacanya dibutuhkan ketelitian supaya hasilnya tidak keliru. Perhatikan area skala yang ada pada *display* (Gambar 6.81). Skala yang dibaca adalah skala yang di tengah, yang *range* angkanya 0 sampai 50. Terlihat jarum menunjuk pada angka 22. Artinya, tegangan pada baterai adalah 22 volt.



Gambar 6.81 Cara membaca skala multimeter

i. Kalibrasi

Kalibrasi pada suatu alat ukur atau instrumentasi sangat diperlukan agar alat ukur selalu dalam kondisi sesuai standar dan dapat memberikan hasil pembacaan yang jelas, akurat, dan presisi. Pelaksanaan kalibrasi dilakukan secara berkala dan harus dicatat konsisten. Beberapa alat ukur atau instrumen dilakukan kalibrasi dengan interval setiap 6 bulan, 12 bulan, atau 24 bulan sekali pada lembaga kalibrasi.

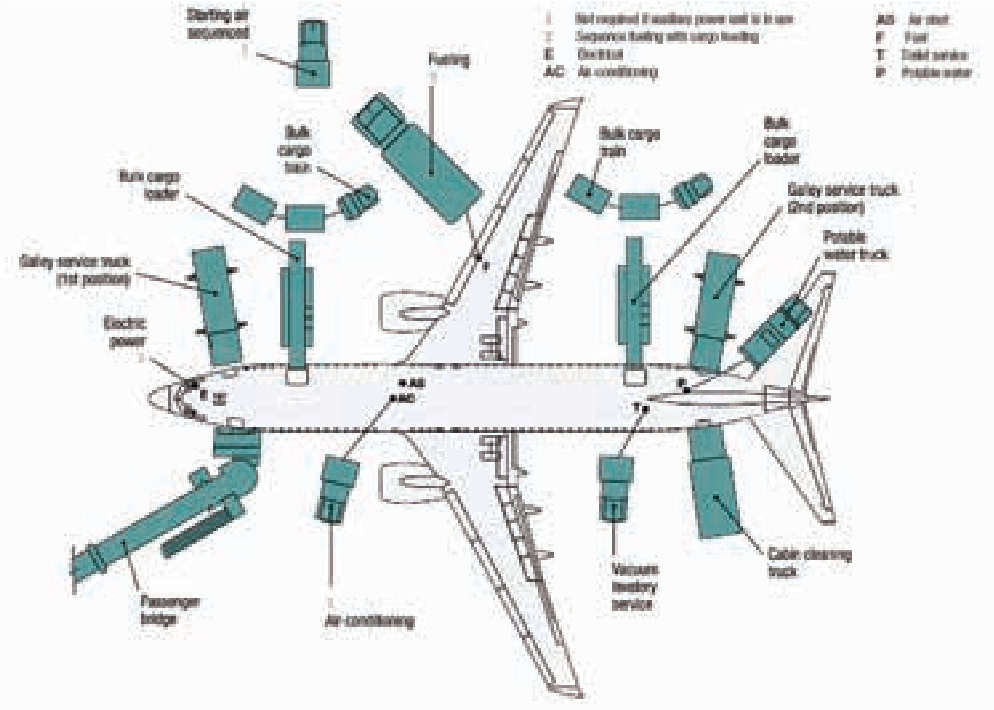
K. *Aircraft Equipments*

Dalam operasional penerbangan, pemeliharaan, dan perbaikan pesawat udara memerlukan sejumlah perlengkapan. Apa saja jenis, fungsi, dan cara kerja perlengkapan tersebut?

Perlengkapan pesawat udara (*aircraft equipments*) adalah sejumlah perlengkapan atau perangkat yang digunakan sebagai pendukung dalam operasional penerbangan pesawat udara ataupun dalam pelaksanaan kerja pemeliharaan dan perbaikan.

Aircraft equipments terbagi menjadi dua kategori, yaitu perlengkapan yang mendukung saat pesawat berada di bawah (*ground equipments*) atau sebelum terbang, dan perlengkapan yang ada di pesawat selama

penerbangan (*flight equipments*). Jika ditinjau dari fungsi dan cara kerjanya, *aircraft equipments* terbagi menjadi tiga kategori, yaitu perlengkapan umum (*general equipments*), perlengkapan khusus (*special equipments*), dan perlengkapan kedaruratan (*emergency equipments*).



Gambar 6.82 *Aircraft ground support equipments*
(Sumber: boeing.com/Aero Magazine, 2008)

1. *General Equipments*

Perlengkapan umum atau *general equipments* merupakan perlengkapan dasar yang harus ada dalam suatu operasional pesawat udara. Beberapa perlengkapan umum yang bertujuan lebih kepada pelayanan penumpang saat pesawat udara masih di darat, di antaranya tangga penumpang, tangga pemeliharaan, serta pelayanan air bersih dan air kotor.

a. *Passenger stairs*

Sesuai dengan namanya, tangga penumpang (*passenger stairs*) diperlukan penumpang saat proses naik (*boarding*) atau turun (*disembark*) dari pesawat udara.



Gambar 6.83 *Aircraft passenger stairs*
(Sumber: TIPS Ground Support Equipment, 2022)

b. *Maintenance stairs*

Teknisi juga memerlukan tangga saat melaksanakan pemeliharaan atau perbaikan pesawat udara. Dikarenakan perbedaan ketinggian di beberapa bagian pesawat, maka pembuatan bentuk dan ketinggian tangga pemeliharaan (*maintenance stairs*) juga disesuaikan dengan kebutuhan. Sebagai contoh, bentuk dan ketinggian tangga yang digunakan untuk pemeliharaan *engine* dan APU akan berbeda.



Gambar 6.84 *Maintenance stairs*
(Sumber: pngwing.com, 2022)

c. *Water service*

Water service adalah perangkat atau perlengkapan untuk melayani pengisian air bersih (*pure water*) ke tanki air pesawat udara (*aircraft water tank*). Air bersih dimasukkan ke tangki air pesawat udara melalui *water service panel* sesaat sebelum keberangkatan atau sebelum operasional penerbangan.



Gambar 6.85 *Aircraft water service*
(Sumber: TIPS Ground Support Equipment, 2022)

d. *Lavatory service*

Lavatory service adalah sebuah truk untuk menguras air kotor dari tanki air kotor pesawat udara (*aircraft lavatory tank*). Air kotor atau tinja yang ada di *aircraft lavatory tank* akan dikuras melalui *lavatory acces panel* sesaat sebelum operasional penerbangan atau sebelum keberangkatan.



Gambar 6.86 *Aircraft lavatory service*
(Sumber: TIPS Ground Support Equipment, 2022)

e. *Wheel chock*

Wheel chock adalah sebuah alat untuk mengganjal roda-roda pesawat (*aircraft wheels*). *Wheel chock* sangat dibutuhkan untuk keamanan agar pesawat berada pada posisi yang tetap dan tidak bergerak apabila diterpa angin atau meski permukaan landasan tidak rata selama berada di *ground* atau saat pesawat parkir.



Gambar 6.87 *Aircraft wheel chock*
(Sumber: drallim.com, 2018)

2. *Special Equipments*

Perlengkapan khusus (*special equipments*) merupakan alat-alat bantu khusus untuk keperluan perawatan dan pemeliharaan pesawat udara di darat, baik pada saat kedatangan, keberangkatan, maupun saat perawatan dan pemeliharaan. Perlengkapan ini misalnya GPU, APU, ACC, dan *towing bar*.

a. *Ground power unit*

Ground power unit (GPU) adalah perangkat yang berfungsi sebagai pemasok daya listrik (*electric power*). GPU digunakan sebagai sumber daya listrik pesawat udara saat masih berada di darat.



Gambar 6.88 *Ground power unit* saat *preflight* dan *maintenance*
(Sumber: ONS Frankfurt GmbH, 2020)

b. *Air conditioning cart*

Air conditioning cart (ACC) adalah perangkat penghasil udara sejuk dan segar. ACC berfungsi sebagai sumber udara segar untuk pesawat ketika masih berada di darat, sebelum sumber sistem AC pesawat dihidupkan.



Gambar 6.89 *Air conditioning cart* pada pesawat sipil dan militer
(Sumber: airport-suppliers.com, 2021)

c. *Towing bar* dan traktor

Towing bar ialah batang perantara antara traktor dengan pesawat, digunakan saat pesawat udara akan ditarik atau didorong. Umumnya, *towing bar* digunakan saat traktor mendorong pesawat (*pushback*) sebelum mesin pesawat menyala.



Gambar 6.90 *Aircraft towing bar*
(Sumber: Jet Maintenance & Service, 2021)

d. *Aircraft jacks*

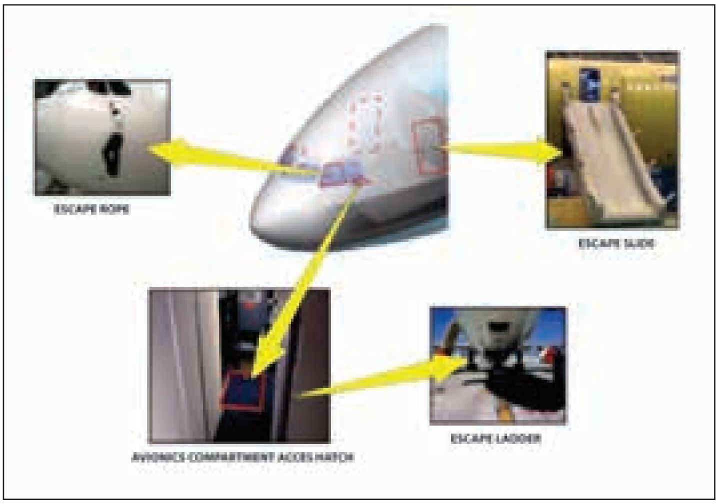
Aircraft jacks ialah pengungkit atau pengangkat pesawat udara. Pengangkat hidrolik ini dibedakan menjadi dua jenis, yaitu *wheel axle jacks* dan *tripod jacks*. *Wheel axle jacks* digunakan untuk pengerjaan penggantian roda dan rem, sedangkan *tripod jacks* digunakan pada pengerjaan pemeliharaan berat yang dilakukan di area hangar.



Gambar 6.91 *Aircraft wheel axle jacks* dan *hydraulic tripod jaks*
(Sumber: Aerospace GSE, 2022 dan Malabar International, 2015)

3. *Emergency Equipments*

Perlengkapan darurat pada pesawat udara (*aircraft emergency equipment*) adalah sejumlah perlengkapan yang digunakan saat keadaan darurat. Beberapa *emergency equipment* yang terdapat di sebuah pesawat udara, misalnya *overwing escape straps, escape lanyards, escape slide/rafts, overwater survival, detachable emergency, life vest, oxygen bottles, first kits, fire extinguisher, location transmitter,* dan *flashlight*. *Escape rope* merupakan tali darurat yang diperuntukkan kru kokpit (pilot dan kopilot). *Emergency escape slide* terdapat di semua pintu pesawat, termasuk juga *overwing emergency exit doors*.





Gambar 6.92 Jenis-jenis *aircraft emergency equipments*
(Sumber: Maruli Tua dan Asep Gunawan, 2022)

a. *Life vest*

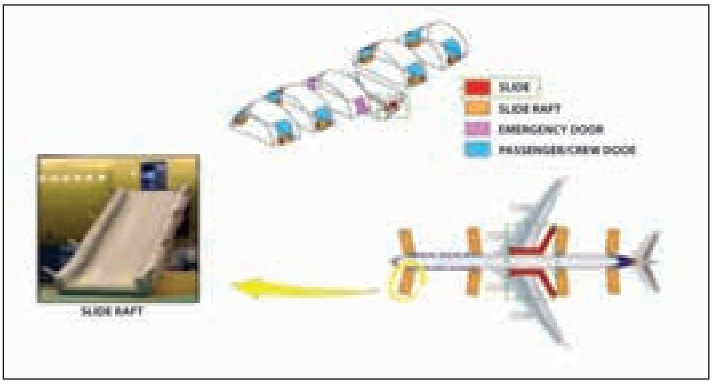
Jaket pelampung (*life vest*) digunakan ketika pesawat mendarat darurat di perairan, baik di lautan maupun sungai. *Life vest* tersebut tersimpan di bawah tiap-tiap kursi penumpang dan kursi pramugara/pramugari. *Life vest* dilengkapi *buoyancy chamber* agar dapat membuat kita mengapung di air dan tali pengikat (*straps and clips*) untuk diikat ke bagian pinggang.



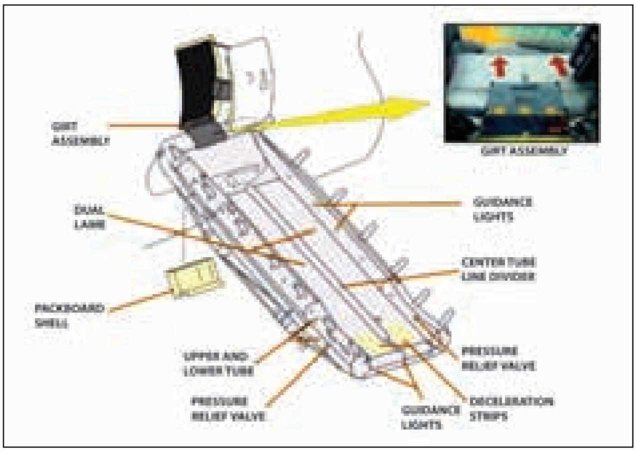
Gambar 6.93 *Life vest*
(Sumber: m.made-in-china.com, 2013)

b. *Slide rafts*

Slide rafts dipasang di setiap pintu pesawat dan pintu *emergency exit*. *Slide rafts* merupakan kombinasi *escape slide* dan *life raft*, kecuali pada *overwing emergency exit* yang hanya terpasang *escape slide*. *Slide raft* akan mengembang secara otomatis ketika pintu darurat terbuka.



Gambar 6.94 Penempatan dan operasional *slide rafts*
(Sumber: Maruli Tua dan Asep Gunawan, 2022)



Gambar 6.95 Bagian-bagian *slide rafts*
(Sumber: Maruli Tua dan Asep Gunawan, 2022)

Aktivitas Pembelajaran

1. Tautan disamping adalah video tentang pemasangan bagian-bagian pesawat udara yang menggunakan *aircraft hardware, tools and equipment*.

   Ceritakan kembali mengenai apa yang telah kalian saksikan itu!

https://www.youtube.com/watch?v=AxSR-YxDB_g

2. Buatlah kelompok dan lakukan aktivitas ini bersama teman kelompokmu.
   a. Siapkan dua lembar pelat seng, masing-masing berukuran 1 m × 1 m dan 20 buah paku *rivet*.
   b. Satukan dua lembar seng tadi dengan menggunakan paku *rivet* berjarak 5 cm antarpaku hingga keduanya tersambung rapat.
   c. Buka kembali paku-paku *rivet* tersebut hingga kedua lembar seng tadi terpisah.
   d. Ulangi lagi me-*rivet* lembaran seng tadi.
   e. Buka kembali seperti tadi.

3. Untuk mengetahui aneka jenis baut, ambillah beberapa baut yang berbeda-beda, lalu perhatikan baik-baik satu per satu. Sebutkan informasi apa saja yang bisa kalian peroleh dari baut-baut tersebut. Lanjutkan dengan menggambar bentuk kepala baut jenis *hex head*, *countersunk head styles*, dan *eye bolt* di selembar kertas!

4. Untuk mengetahui dan memahami tentang cara mengamankan baut yang dipasang pada bagian yang berputar agar tidak terlepas, silakan kalian menontonnya di kanal YouTube dengan memindai *QR-code* di samping.

   https://www.youtube.com/watch?v=7Xck44xYeaE

   Setelah menonton video tersebut, diskusikan dengan teman kalian, cara yang paling baik untuk mengamankannya!

5. Untuk mengetahui dan memahami tentang cara memilih *lock nut* yang sesuai dengan kebutuhan, silakan kalian menonton video di kanal YouTube dengan memindai *QR-code* di samping.

   https://www.youtube.com/watch?v=S4tiQIR-AGQ

   https://www.youtube.com/watch?v=_o-Op7wb73E

   Setelah menonton video tersebut, berikan pemaparan bagaimana cara memilih *lock nut* yang sesuai dengan pembuatan atau perawatan pesawat udara!

6. Sebagai bahan eksplorasi tentang *aircraft bearings*, kalian dapat menonton videonya di kanal YouTube dengan memindai *QR-code* di samping.

   https://www.youtube.com/watch?v=DFZzMuVINj8

   Jelaskan kembali prosedur *lubricating aircraft wheel bearing* seperti terlihat pada video!

7. Perhatikan kembali Gambar 6.44. Coba kalian diskusikan bersama teman kelompokmu, lalu jelaskan bagaimana cara memasang dan menyetel *push pull tube*!

8. Untuk mengetahui dan memahami tentang metode penandaan kabel, kalian dapat menonton videonya di kanal Youtube dengan memindai *QR-code* di samping.

   Setelah menonton video tentang metode tersebut,, berikan pendapat Kalian tentang cara penandaan kabel yang menurut Kalian paling mudah.

   https://www.youtube.com/watch?v=INYShzyGmfI

9. Untuk mengetahui dan memahami tentang *aircraft tools*, kalian dapat menonton YouTube dengan memindai *QR-code* di samping.

   Diskusikan bersama teman kalian, bagaimana cara agar *aircraft tools* yang ada di sekolah bisa diaplikasikan seperti pada video tersebut!

   https://www.youtube.com/watch?v=_o-Op7wb73E

10. Untuk mengetahui dan memahami tentang penempatan dan jenis *emergency equipments*, kalian dapat menonton YouTube dengan memindai *QR-code* di samping.

    Pahami baik-baik dan aplikasikan apabila kalian dalam keadaan darurat.

    www.youtube.com/watch?v=Dd8VLoSWuRg

Rangkuman

1. Perangkat keras pesawat udara (*aircraft hardware*) adalah istilah untuk menggambarkan berbagai jenis pengikat/pengencang dan aneka komponen kecil lainnya yang digunakan dalam pembuatan, perawatan, dan perbaikan pesawat udara.
2. Baut (*bolt*) dan sekrup (*screw*) adalah dua jenis alat pengikat yang memberikan keamanan pemasangan dan kekakuan yang diperlukan. Umumnya, baut digunakan bila pengencangan itu menekankan

kekuatan yang besar, sedangkan sekrup bila kekuatan pengencangan bukan faktor penentu atau kekuatannya relatif kecil.

3. Baut dapat diidentifikasi dari bentuk kepalanya, metode keamanannya, bahannya, atau penggunaannya.
4. Berdasarkan metode pengamanannya, mur terbagi dalam dua kelompok, yaitu:
   a. Mur yang tidak memiliki pengunci sendiri (*non-self-locking nut*)
   b. Mur yang memiliki pengunci sendiri (*self-locking nut*).
5. Sekrup yang umum digunakan terbagi dalam tiga kelompok, yaitu:
   a. *Structural screws*, sekrup yang memiliki kekuatan yang sama dengan baut berukuran sama.
   b. *Machine screws*, sekrup yang paling banyak digunakan untuk perbaikan umum.
   c. *Selftapping screws*, digunakan untuk menyambung bagian yang lebih ringan.
6. *Rivet* adalah sebuah pin logam (*metal pin*) yang digunakan untuk menyambung dua atau lebih lembaran logam (*sheet metal*) dengan kepala di salah satu ujungnya.
7. *Aircraft fluid lines* (saluran fluida pesawat udara) biasanya terbuat dari pipa logam atau selang fleksibel, digunakan untuk bahan bakar, oli, pendingin, oksigen, instrumen, dan saluran hidrolik.
8. Pegas adalah benda elastis yang digunakan untuk menyimpan energi mekanik, biasanya terbuat dari baja yang dikeraskan. Pegas dapat dibelit, ditarik, atau diregangkan oleh sejumlah kekuatan, dan dapat kembali ke bentuk aslinya ketika kekuatan tersebut dilepaskan.
9. *Turnbuckle* adalah perangkat sekrup mekanis yang terdiri atas dua terminal berulir dan laras berulir (*threaded barrel*). *Turnbuckle* dipasang pada unit kabel untuk membuat sedikit penyetelan pada panjang kabel dan menyetel tegangan kabel.
10. Kinerja sistem kelistrikan yang baik dan berkelanjutan bergantung pada pengetahuan dan teknik dari teknisi yang memasang, memeriksa, dan memelihara sistem kabel kelistrikan tersebut.

11. *Aircraft tools* adalah perangkat yang digunakan dalam melakukan pekerjaan-pekerjaan perawatan dan perbaikan pesawat udara.
12. *Aircraft equipments* adalah sejumlah perlengkapan atau perangkat yang digunakan sebagai pendukung dalam operasional penerbangan ataupun dalam pemeliharaan dan perbaikan pesawat udara.

Tes Formatif

Jawablah pertanyaan-pertanyaan dibawah ini dengan benar!

1. Jelaskan definisi *aircraft hardware*!
2. Sebutkan tiga metode standar yang paling sering digunakan pada *aircraft hardware*!
3. Mengapa paku keling (*rivet*) dan las (*welding*) tidak boleh digunakan untuk menyambung bagian yang sering dibongkar pasang?
4. Mengapa pada pemasangan baut (*bolt*) umumnya dikencangkan dengan cara memutar mur (*nut*) dan tidak diperbolehkan memutar kepala baut?
5. Mengapa ulir perlu diklasifikasikan berdasarkan kelas *fit*-nya?
6. Sebutkan bentuk ulir yang paling cocok digunakan untuk memindahkan tenaga yang besar!
7. Apa yang kalian ketahui mengenai *knuckle thread*?
8. Sebutkan tiga material yang digunakan untuk membuat baut pesawat udara!
9. Sebutkan empat jenis baut yang banyak digunakan dalam struktur pesawat udara!
10. Gambarkan kepala baut jenis *hex head*, *clevis*, *countersunk head styles*, dan *eyebolt*!
11. Jelaskan cara membaca identifikasi baut dengan nomor komponen AN4DD6A!
12. Apa yang kalian ketahui tentang *close tolerance bolts*!
13. Perhatikan bentuk kepala *internal wrenching bolt*! Dengan bentuk kepala seperti itu, beban apa yang paling besar ditanggung oleh *internal wrenching bolt*?

14. Jelaskan cara mengidentifikasi *aircraft nut*!
15. Jelaskan perbedaan *non-self-locking nut* dan *self-locking nut*!
16. Jelaskan arti dari mur dengan kode AN320-10!
17. Mengapa *castellated shear nut* AN320 dirancang untuk menerima tegangan geser (*shear*) saja?
18. Sebutkan penggunaan *wing nut* AN350 yang pernah kalian lihat pada penggunaan di lingkungan sekitar kalian!
19. Apa yang kalian ketahui tentang *self-locking nuts* jenis *fiber lock type*?
20. Berikan penjelasan mur yang memiliki kode AN310D5R!
21. Jelaskan pengelompokan sekrup pada pesawat udara beserta penggunaannya!
22. Mengapa sebagian besar orang mengklasifikasikan *drive screws* bukan sekrup melainkan paku (*nail*)? Jelaskan!
23. Jelaskan arti dari nomor kode AN501D-416-7 pada sekrup!
24. Jelaskan arti dari nomor kode NAS144DH-24 pada sekrup!
25. Jelaskan perbedaan mendasar bentuk fisik antara *structural screw* dibanding *machine screw* dan *self-tapping screw*!
26. Jelaskan definisi *rivet* sesuai dengan materi yang telah kalian pelajari!
27. Sebutkan lima macam penggunaan *rivet* di pesawat udara!
28. Gambarkan jenis-jenis kepala *solid shank rivet*!
29. Pada kondisi apa kita harus menggunakan *blind rivet*?
30. Mengapa kepala *countersunk head rivet* paling banyak digunakan pada bagian eksterior pesawat udara?
31. Jelaskan arti dari nomor kode rivet AN470AD3-5!
32. Jelaskan definisi dari pegas (*spring*) menurut pemahaman kalian!
33. Sebutkan lima fungsi dari pegas!
34. Jelaskan apa yang kalian ketahui tentang pegas datar, pegas spiral, dan pegas ulir?
35. Jelaskan perbedaan tentang bantalan bola (*ball bearings*) dan bantalan rol (*roller bearings*)!

36. Gambarkan bagian-bagian bantalan bola!
37. Apa yang kalian ketahui tentang bantalan rol jenis *cylindrical roller bearings, spherical roller bearings,* dan *tapered roller bearings*?
38. Jelaskan apa yang kalian ketahui tentang *cable fittings*!
39. Mengapa kabel transmisi dan kabel kontrol perlu dilengkapi dengan beberapa jenis alat kelengkapan yang berbeda, seperti *terminals, thimbles, bushings*, dan *shackles*?
40. Gambarkan *turnbuckle* beserta nama bagian-bagiannya!
41. Gambarkan pula *push-pull tube assembly* beserta nama bagian-bagiannya!
42. Jelaskan potensi bahaya yang akan terjadi apabila kabel pesawat udara tidak dirawat dengan benar atau sembarangan!
43. Mengapa kinerja sistem kelistrikan yang baik dan berkelanjutan pada pesawat udara sangat bergantung pada pengetahuan dan teknik dari teknisi yang memasang, memeriksa, dan memelihara sistem kelistrikan tersebut?
44. Sebutkan lima karakteristik pemilihan jenis bahan isolasi konduktor!
45. Jelaskan perbedaan antara metode penandaan kabel langsung dan tidak langsung!
46. Sebutkan kategori perkakas untuk pekerjaan perawatan dan perbaikan pesawat berdasarkan fungsi/cara kerja dan sifatnya!
47. Perkakas apa saja yang termasuk *cutting tools*?
48. Sebutkan pula perkakas yang termasuk alat ukur!
49. Apa kegunaan perkakas *rachet, slide caliper, file card,* dan *torque wrench?*
50. Mengapa *torque wrench* harus dikalibrasi pada interval waktu tertentu?
51. Apa yang dimaksud dengan perlengkapan penunjang pelayanan darat?
52. Sebutkan empat perlengkapan yang termasuk kategori *general equipments*!
53. Apa itu *wheel chock* dan apa fungsinya?
54. Apa nama peralatan penghasil tenaga listrik yang memasok daya sebelum mesin pesawat dinyalakan?

55. Apa yang dimaksud *emergency equipment*? Sebutkan perangkat-perangkatnya!
56. Di bagian mana dipasang *slide rafts*? Apa fungsinya?
57. Apa gunanya *towing bar* and *tractor* dan kapan penggunaannya?
58. Tuliskan kepanjangan dari APU dan jelaskan fungsinya!
59. Apa yang dimaksud kalibrasi dan mengapa itu penting dilakukan?
60. Bagaimana cara mengukur arus listrik sebesar 100 mA dengan multimeter analog? Tuliskan tahap-tahapnya!

Refleksi

Berilah tanda centang (√) pada materi yang telah kalian pahami!

☐	Memahami *aircraft fastener*.
☐	Memahami *aircraft fitting*.
☐	Memahami *aircraft transmission and cable control*.
☐	Memahami *aircraft tools*.
☐	Memahami aircraft *equipments*.

Jika ada materi yang belum kalian pahami, tanyakan kepada guru atau diskusikan bersama teman kalian yang telah paham.

Pengayaan

Untuk menambah wawasan kalian mengenai ruang lingkup *aircraft hardware, tools and equipment*, kalian bisa menelusurinya di internet. Sebagai contoh, tautan video berikut bisa kalian simak.

https://youtu.be/hliEyBKBVX4

Daftar Pustaka

Sumber Buku

Federal Aviation Administration. 2018. *Aircraft Maintenance Technician Handbook - Airframe, Volume 1*. Washington: US Department of Transportation.

Federal Aviation Administration. 2018. *Aircraft Maintenance Technician Handbook - General*. Washington: US Department of Transportation.

Forenz, Thomas. 2016. *Materials and Hardware*. Cologne: European Union Aviation Safety Agency.

Forenz, Thomas. 2018. *Basic Aerodynamic*. Cologne: European Union Aviation Safety Agency.

Grant, David B., Alexander Trautrims, dan Chee Yew Wong. 2017. *Sustainable Logistics and Supply Chain Management (2nd Edition)*. London: Kogan Page Limited.

Johana, Ohan dan M. Suratman. 2000. *Menggambar Teknik Mesin dengan Standar ISO*. Bandung: Pustaka Grafika.

Rejeki, Sri. 2016. *Kesehatan dan Keselamatan Kerja*. Jakarta: Pusdik SDM Kesehatan, Kementerian Kesehatan Republik Indonesia.

Sato, G. Takeshi dan N.S. Hartanto. 2017. *Menggambar Mesin Menurut Standar ISO*. Jakarta: Pradnya Paramita.

Sumber Internet

http://www.actechbooks.com

http://www.aviationnews-online.com

http://www.batamaerotechnic.com

http://www.easa.europa.eu

http://www.faa.gov

http://www.fltechnics.com

http://www.gmf-aeroasia.co.id

http://www.hubud.dephub.go.id

http://www.indonesian-aerospace.com

http://www.ptmmf.co.id

http://www.rolls-royce.com

Sumber Gambar

Gambar 1.1 Duke University/Adrian Bejan (2014) https://phys.org/news/2014-07-law-physics-airplane-evolution.html. Diunduh tanggal 17 Juni 2022 pukul 10.30 WIB.

Gambar 1.2 BoeingAirplanes/Khoros Publishing (2018) https://twitter.com/BoeingAirplanes/status/1040019755426623490/photo/1. Diunduh tanggal 17 Juni 2022 pukul 10.40 WIB

Gambar 1.4 Kementerian Perhubungan/ Firdaus Prima Siswanto dan Ilda Hamidah (2018) https://www.researchgate.net/figure/Gambar-4-Perbandingan-Sebaran-Bandara-Sebelum-dan-Setelah-KSP_fig2_331228751. Diunduh tanggal 17 Juni 2022 pukul 10.50 WIB.

Gambar 1.5 Airline Empire/SKYSWIMMER (2018) http://www.airline-empires.com/index.php?/gallery/image/22733-liveries-of-indonesian-airlines/. Diunduh tanggal 17 Juni 2022 pukul 11.00 WIB.

Gambar 1.6 Commercial Market Outlook 2019-2038/Grupo One Air https://www.grupooneair.com/analysis-global-growth-commercial-aviation/. Diunduh tanggal 17 Juni 2022 pukul 11.05 WIB

Gambar 1.12 Pilot and Technician Outlook 2021–2040/Boeing (2021) https://www.boeing.com/commercial/market/pilot-technician-outlook/. Diunduh tanggal 17 Juni 2022 pukul 15.50 WIB.

Gambar 1.14 Liputan6.com/Angga Yuniar (2018) https://www.liputan6.com/bisnis/read/3669522/kemenhub-dorong-pengembangan-industri-komponen-pesawat. Diunduh tanggal 17 Juni 2022 pukul 18.10 WIB

Gambar 2.4 Environmental Health & Safety, Eastern Washington University (2017) https://inside.ewu.edu/ehs/occupational-health-safety/ppe/. Diunduh tanggal 18 Juni 2022 pukul 8.55 WIB.

Gambar 2.6 Joom.com/lightome (2022) https://www.joom.com/en/products/5e9446de9ca4d501066fba7d. Diunduh tanggal 18 Juni 2022 pukul 9.10 WIB.

Gambar 2.7 hobartwelders.com (2019) https://www.hobartwelders.com/safety/helmets/passive-series-welding-helmets-m30165. Diunduh tanggal 18 Juni 2022 pukul 9.20 WIB.

Gambar 2.8 pngegg.com (2022) https://www.pngegg.com/ensearch?q=hearing+Protection+Device. Diunduh tanggal 18 Juni 2022 pukul 9.25 WIB.

Gambar 2.9 hsi magazine/Arto Makinen (2007) https://www.hsimagazine.com/article/en-352-ear-plugs-ear-muffs/. Diunduh tanggal 18 Juni 2022 pukul 9.35 WIB.

Gambar 2.10a freepik.com/rawpixel.com (2022) https://www.freepik.com/search?format=search&query=mask&selection=1&type=photo. Diunduh tanggal 18 Juni 2022 pukul 15.10 WIB.

Gambar 2.10b PT Akar Berkat Mandiri (2020) https://abmindosupply.com/shop/industrial-safety/masker/masker-respirator-original-3m-mask-6200-filter-6001/. Diunduh tanggal 18 Juni 2022 pukul 15.15 WIB

Gambar 2.10c Barrak Safety (2022) https://www.barraksafety.co.id/?page_id=280. Diunduh tanggal 18 Juni 2022 pukul 15.20 WIB.

Gambar 2.11 Stationery World (2022) https://stationeryworld.com.sg/white-cotton-gloves-12-pairs-per-pack. Diunduh tanggal 18 Juni 2022 pukul 9.55 WIB.

Gambar 2.12 Apex Trading and Services (2022) https://apextools.com/av-asbestos-glove-18-av-asg18/. Diunduh tanggal 18 Juni 2022 pukul 10.00 WIB.

Gambar 2.13 L.D Group of Industries (2017) https://ld.com.pk/product/ld-450-split-leather-drivers-gloves/. Diunduh tanggal 18 Juni 2022 pukul 10.05 WIB.

Gambar 2.14 u-buy.jp/Jewboer (2022) https://www.u-buy.jp/en/product/BSXFZYO-jewboer-2-pairs-14-heavy-duty-rubber-gloves-chemical-muriatic-acid-resistant-latex-gloves-waterproof. Diunduh tanggal 18 Juni 2022 pukul 10.10 WIB.

Gambar 2.15a LOTO Safety Requisites Trading (2020) https://www.lotosafetyproducts.com/product/respirex-dielectric-boots-20kv/. Diunduh tanggal 18 Juni 2022 pukul 10.20 WIB.

Gambar 2.15b jiji.ng/Donatus Ifoh (2020) https://jiji.ng/lagos-island-west/shoes/safety-boot-av2U1bvAURoZRuFKMdWChoev.html. Diunduh tanggal 18 Juni 2022 pukul 10.25 WIB.

Gambar 2.15c superoshoes.com/SAFETOE (2022) https://superoshoes.com/product/details/HK2BBJ570B/safetoe-work-boots-for-men-steel-toe-safety-shoes-m8179-women-leather-wide-width-safety-toe-boots. Diunduh tanggal 18 Juni 2022 pukul 10.35 WIB.

Gambar 2.16 saddlebackleather.com (2022) https://saddlebackleather.com/leather-workshop-apron/. Diunduh tanggal 18 Juni 2022 pukul 10.50 WIB

Gambar 2.17 nsscanada.com (2020) https://www.nsscanada.com/product/pioneer-hi-viz-surveyors-safety-vest-hi-viz-yellow-green/. Diunduh tanggal 18 Juni 2022 pukul 10.55 WIB.

Gambar 2.18a safetysuppliesamerica.com (2022) https://safetysuppliesamerica.com/february-special/hi-vis-cotton-safety-coverall-reg-tall-pioneer/. Diunduh tanggal 18 Juni 2022 pukul 11.00 WIB.

Gambar 2.18b Istawred Medical (2021) https://med.istawred.com/product/medical-disposable-coverall-laminated/. Diunduh tanggal 18 Juni 2022 pukul 11.05 WIB.

Gambar 2.19 CV Niaga Jaya (2021) https://www.cvniagajaya.com/product/life-jacket/. Diunduh tanggal 18 Juni 2022 pukul 11.07 WIB

Gambar 2.20 bunzlsafety.com.au (2022) https://www.bunzlsafety.com.au/tychem-c-tychem-2000-chemical-suit. Diunduh tanggal 18 Juni 2022 pukul 11.10 WIB.

Gambar 2.21 Wasip, LTD (2022) https://wasip.com/product/601-tornado-rain-coat-w-detachable-hood/. Diunduh tanggal 18 Juni 2022 pukul 11.15 WIB.

Gambar 2.22 Apac Builders Equipment (2021) https://apacsafety.com/personal-fall-protection/. Diunduh tanggal 18 Juni 2022 pukul 11.20 WIB.

Gambar 2.23 Safpack Industrial Supplies (2019) https://www.safpack.com/body_protection_safety_apparel.html. Diunduh tanggal 18 Juni 2022 pukul 11.25 WIB.

Gambar 2.24 freepik.com/macrovector https://www.freepik.com/search?format=search&query=fire%20 fighting%20equipment. Diunduh tanggal 18 Juni 2022 pukul 11.35 WIB.

Gambar 2.25 freepik.com/macrovector https://www.freepik.com/search?format=search&query=Fire%20 extinguisher%20. Diunduh tanggal 18 Juni 2022 pukul 11.40 WIB.

Gambar 2.27 marineinsight.com/mohit (2012) https://www.marineinsight.com/marine-safety/different-types-of-fire-extinguishers-used-on-ships/. Diunduh tanggal 18 Juni 2022 pukul 11.50 WIB.

Gambar 2.28 firehydrant.id (2018) https://firehydrant.id/komponen-hydrant-dan-fungsinya/head-3-fa/. Diunduh tanggal 18 Juni 2022 pukul 12.00 WIB.

Gambar 3.1 Aircraft Drawing/Mani Rathinam Rajamani (2016) https://silo.tips/download/aircraft-drawings-by-mani-rathinam-rajamani. Diunduh tanggal 18 Juni 2022 pukul 17.45.

Gambar 3.2 Melbourne Artists Supplies (2022) https://www.melbourneartsupplies.com.au/products/draftex-french-curve-set-of-3. Diunduh tanggal 18 Juni 2022 pukul 17.50.

Gambar 3.3a Bayan eShop (2022) https://bayan-eshop.com/products/prima-circle-drawing-stencil-1-5-36-mm. Diunduh tanggal 18 Juni 2022 pukul 18.00.

Gambar 3.3b Linographindia (2019) http://www.linographindia.com/product/25-35-45-60-degree-ellipse-template-62-ellipses/. Diunduh tanggal 18 Juni 2022 pukul 18.05.

Gambar 3.3c alexnld.com (2018) https://alexnld.com/product/furniture-measuring-geometric-drawing-template-house-building-formwork-kt-soft-plastic-ruler-stencil/. Diunduh tanggal 18 Juni 2022 pukul 18.10.

Gambar 3.4 wikipedia.org/Lucasbosch (2014) https://en.wikipedia.org/wiki/Lettering_guide. Diunduh tanggal 18 Juni 2022 pukul 18.15.

Gambar 3.5 Sumber: Sato dan Hartanto, 2008.

Gambar 3.6a & b Sumber: Maruli Tua dan Asep Gunawan.

Tabel 3.5 Sumber: Sato dan Hartanto, 2008.

Gambar 3.8 Sumber: Sato dan Hartanto, 2008.

Gambar 3.9 Sumber: Sato dan Hartanto, 2008.

Gambar 3.10 Sumber: Sato dan Hartanto, 2008.

Gambar 3.11 Sumber: Juhana dan Suratman, 2000.

Gambar 3.12 Sumber: Sato dan Hartanto, 2008.

Gambar 3.13 Sumber: Sato dan Hartanto, 2008.

Gambar 3.14 Sumber: Sato dan Hartanto, 2008.

Gambar 3.15 Sumber: Sato dan Hartanto, 2008.

Gambar 3.16 Sumber: Sato dan Hartanto, 2008.

Gambar 3.17 Sumber: Sato dan Hartanto, 2008.

Gambar 3.18 Sumber: Sato dan Hartanto, 2008.

Gambar 3.19 Sumber: Sato dan Hartanto, 2008.

Gambar 3.20 Sumber: Sato dan Hartanto, 2008.

Gambar 3.21 Sumber: Sato dan Hartanto, 2008.

Gambar 3.22 Sumber: Sato dan Hartanto, 2008.

Gambar 3.23 Sumber: Sato dan Hartanto, 2008.

Gambar 3.24 Sumber: Sato dan Hartanto, 2008.

Gambar 3.25 Sumber: Sato dan Hartanto, 2008.

Gambar 3.26 Sumber: Juhana dan Suratman, 2000.

Gambar 3.27 Sumber: Sato dan Hartanto, 2008.

Gambar 3.28 Sumber: Sato dan Hartanto, 2008.

Gambar 3.29 Sumber: Juhana dan Suratman, 2000.

Gambar 3.30 Sumber: Juhana dan Suratman, 2000.

Gambar 3.31 Sumber: Juhana dan Suratman, 2000.

Gambar 3.32 Sumber: Juhana dan Suratman, 2000.

Gambar 3.33 Sumber: Sato dan Hartanto, 2008.

Gambar 3.34 Sumber: Sato dan Hartanto, 2008.

Gambar 3.35 Sumber: Sato dan Hartanto, 2008.

Gambar 3.36 Sumber: Juhana dan Suratman, 2000.

Tabel 3.7 Sumber: Juhana dan Suratman, 2000.

Tabel 3.8 Sumber: Juhana dan Suratman, 2000.

Gambar 3.37 Sumber: Juhana dan Suratman, 2000

Gambar 3.38 Sumber: Sato dan Hartanto, 2008.

Gambar 3.39 Sumber: Sato dan Hartanto, 2008.

Gambar 3.40 Sumber: Juhana dan Suratman, 2000.

Gambar 3.41 Sumber: Sato dan Hartanto, 2008.

Gambar 3.42 Sumber: Juhana dan Suratman, 2000.

Gambar 3.44 Sumber: FAA Aircraft Drawings

Gambar 3.45 Sumber: FAA Aircraft Drawings

Gambar 3.46 Sumber: Juhana dan Suratman, 2000.

Gambar 3.47 Sumber: Sato dan Hartanto, 2008.

Gambar 3.48 Sumber: Sato dan Hartanto, 2008.

Gambar 3.49 Sumber: Sato dan Hartanto, 2008.

Tabel 3.9 Sumber: Sato dan Hartanto, 2008.

Gambar 3.50 Sumber: FAA Aircraft Drawings

Gambar 3.51 Sumber: FAA Aircraft Drawings

Gambar 3.52 Sumber: FAA Aircraft Drawings

Gambar 3.53 Sumber: FAA Aircraft Drawings

Gambar 3.54 Sumber: FAA Aircraft Drawings

Gambar 3.55 Sumber: FAA Aircraft Drawings

Gambar 3.56 Sumber: FAA Aircraft Drawings

Gambar 4.1 modernairliners.com (2015) https://modernairliners.com/airbus-a350-xwb-introduction/airbus-a350-xwb-specifications/. Diunduh tanggal 25 Juni 2022 Pukul 6.45 WIB.

Gambar 4.2 freepik.com/macrovector (2022) https://www.freepik.com/search?format=search&query=atmosphere%20layers. Diunduh tanggal 25 Juni 2022 Pukul 6.50 WIB.

Gambar 4.3 Sumber: EASA Module 08 Basic Aerodinamics (2014) Forenz, Thomas (Eds). 2014. Module 08 Basic Aerodinamics: Aviation Maintenance Technician Certification Series. Colorado: Aircraft Technical Book Company.

Gambar 4.4 Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 1 (2018) Federal Aviation Administration. 2018. Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 1. Washington: U.S. Department of Transportation.

Gambar 4.5 Sumber: EASA Module 08 Basic Aerodinamics (2014).

Gambar 4.6 Sumber: EASA Module 08 Basic Aerodinamics (2014).

Tabel 4.2 Sumber: EASA Module 08 Basic Aerodinamics (2014).

Gambar 4.8 Sumber: EASA Module 08 Basic Aerodinamics (2014).

Gambar 4.9 Sumber: EASA Module 08 Basic Aerodinamics (2014).

Gambar 4.10 Sumber: EASA Module 08 Basic Aerodinamics (2014).

Gambar 4.11 Sumber: EASA Module 08 Basic Aerodinamics (2014).

Gambar 4.12 Sumber: EASA Module 08 Basic Aerodinamics (2014).

Gambar 4.13 Travel + Leisure/Melanie Lieberman (2018) https://www.travelandleisure.com/travel-news/airplanes-flying-in-extreme-cold-weather. Diunduh tanggal 25 Juni 2022 Pukul 12.15 WIB.

Gambar 4.15 Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 1 (2018).

Gambar 4.16 Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 1 (2018).

Gambar 4.17 Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 1 (2018).

Gambar 4.18 Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 1 (2018).

Gambar 4.19 Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 1 (2018).

Gambar 4.20 Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 1 (2018).

Gambar 4.21 Sumber: EASA Module 08 Basic Aerodinamics (2014).

Gambar 4.22 Sumber: EASA Module 08 Basic Aerodinamics (2014).

Gambar 4.23 Sumber: EASA Module 08 Basic Aerodinamics (2014).

Gambar 4.24 Sumber: EASA Module 08 Basic Aerodinamics (2014).

Gambar 4.25 Sumber: EASA Module 08 Basic Aerodinamics (2014).

Gambar 4.26 Sumber: EASA Module 08 Basic Aerodinamics (2014).

Gambar Soal Nomor 7 Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 1 (2018)

Gambar Soal Nomor 11 Sumber: Travel + Leisure/Melanie Lieberman (2018)

Gambar 5.1 dan 5.2 (Sumber: mts.com, 2021) https://www.mts.com/en/articles/materials/lightweight-composites. Diunduh tanggal 26 Juni 2022 Pukul 21.45 WIB.

Gambar 5.3 (Sumber: prescouter.com, 2019) https://www.prescouter.com/2020/06/jet-engines-high-temperature-materials/. Diunduh tanggal 26 Juni 2022 Pukul 21.55 WIB.

Gambar 5.6 (Sumber: usedcomputer.com.my, 2021) https://usedcomputer.com.my/ferrous-non-ferrous-scrap. Diunduh tanggal 26 Juni 2022 Pukul 22.00 WIB.

Gambar 5.7 (Sumber: teachoo.com, 2020) https://www.teachoo.com/9878/2983/Metals--Non-Metals-and-Metalloids/category/Concepts/. Diunduh tanggal 26 Juni 2022 Pukul 22.10 WIB.

Gambar 5.8 (Sumber: sciencenotes.org/Anne Helmenstine, 2021) https://sciencenotes.org/examples-of-natural-polymers-and-their-monomers/. Diunduh tanggal 26 Juni 2022 Pukul 22.15 WIB.

Gambar 5.12 (Sumber: flight-mechanic.com, 2019).

Gambar 5.13 (Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 1, 2018).

Gambar 5.16 (Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 1, 2018).

Gambar 6.1 (Sumber: AFI Assembly Fasteners, 2021) http://www.afi.cc/?page=customer&file=customer/asfain/customerpages/Blog/ScrewThreadTerminology.htm. Diunduh tanggal 28 Juni 2022 Pukul 10.15 WIB

Gambar 6.2, 6.3, 6.4, 6.5, 6.6, 6.7,6.8, 6.9 https://docplayer.net/20822851-Screw-threads-c-h-a-p-t-e-r-17.html. Diunduh tanggal 28 Juni 2022 Pukul 6.15 WIB.

Gambar 6.10 (Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook-General, 2018).

Gambar 6.11 (Sumber: aircraftspruce.com, 2020) https://www.aircraftspruce.com/catalog/hapages/an3.php. Diunduh tanggal 28 Juni 2022 Pukul 10.55 WIB

Gambar 6.12 (Sumber: aircraftspruce.com, 2020) https://www.aircraftspruce.com/catalog/hapages/an176.php. Diunduh tanggal 28 Juni 2022 Pukul 11.00 WIB.

Gambar 6.13 (Sumber: skygeek.com, 2021) https://skygeek.com/air-force-navy-an177-42-bolt-close-tolerance-steel-drilled-shank.html. Diunduh tanggal 28 Juni 2022 Pukul 11.10 WIB.

Gambar 6.14 (Sumber: skygeek.com, 2021) https://skygeek.com/military-standard-ms20004-12-bolt-wrenching-st-undrilled-hd.html. Diunduh tanggal 28 Juni 2022 Pukul 11.15 WIB.

Gambar 6.21 (Sumber: aircraftspruce.eu, 2022) https://www.aircraftspruce.eu/an525-10r9-washer-head-screw.htm. Diunduh tanggal 28 Juni 2022 Pukul 11.25 WIB.

Gambar 6.22 (Sumber: aircraftspruce.com, 2020) https://www.aircraftspruce.com/catalog/hapages/brassinstrscrew.php. Diunduh tanggal 28 Juni 2022 Pukul 11.30 WIB.

Gambar 6.23 (Sumber: military-fasteners.com, 2022) https://military-fasteners.com/screws/tapping+screws/AN530-8R8. Diunduh tanggal 28 Juni 2022 Pukul 11.35 WIB.

Gambar 6.24 (Sumber: aircraftspruce.com, 2021) https://www.aircraftspruce.com/catalog/hapages/an535.php. Diunduh tanggal 28 Juni 2022 Pukul 11.40 WIB.

Gambar 6.250 (Sumber: engineeringlearn.com, 2021) https://engineeringlearn.com/types-of-rivets/. Diunduh tanggal 28 Juni 2022 Pukul 12.35 WIB.

Gambar 6.30 (Sumber: Alsco Company, 2016) https://www.amazon.in/Alsco-Company-Steel-Spring-Length/dp/B000FMWGZU. Diunduh tanggal 28 Juni 2022 Pukul 17.25 WIB.

Gambar 6.31 (Sumber: Tianjin Xsucceed Trade, 2021) https://www.alibaba.com/product-detail/Factory-custom-coil-rewind-flat-spring_62104181438.html. Diunduh tanggal 28 Juni 2022 Pukul 17.20 WIB.

Gambar 6.33 (Sumber: Yuoqing Dofo Spring Manufacturing, 2020) https://m.made-in-china.com/product/Compression-Spring-Vs-Tension-Spring-948759775.html. Diunduh tanggal 28 Juni 2022 Pukul 17.40 WIB.

Gambar 6.34 (Sumber: MW Components, 2022) https://www.mwcomponents.com/torsion-springs. Diunduh tanggal 28 Juni 2022 Pukul 17.45 WIB.

Gambar 6.36 (Sumber: USA Roller Chain, 2022) https://www.usarollerchain.com/deep-groove-ball-bearings-s/6192.htm. Diunduh tanggal 28 Juni 2022 Pukul 18.10 WIB.

Gambar 6.37 (Sumber: MSC Industrial Direct, 2021) https://www.mscdirect.com/product/details/11112109. Diunduh tanggal 28 Juni 2022 Pukul 18.15 WIB

Gambar 6.38 (Sumber: bearingthailand.com, 2020) https://www.bearingthailand.com/product/165137-145544/angular-contact-ball-bearings. Diunduh tanggal 28 Juni 2022 Pukul 19.10 WIB.

Gambar 6.39 (Sumber: amazon.com/VXB, 2009) https://www.amazon.com/51108-Thrust-Bearing-40x60x13-Bearings/dp/B002BBMLGM. Diunduh tanggal 28 Juni 2022 Pukul 19.15 WIB.

Gambar 6.40 (Sumber: kugellager-express.de, 2022) https://www.kugellager-express.de/cylindrical-roller-bearing-nu202-e-tn-15x35x11-mm. Diunduh tanggal 28 Juni 2022 Pukul 20.55 WIB.

Gambar 6.41 (Sumber: kugellager-express.de, 2022) https://www.kugellager-express.de/spherical-roller-bearing-21304-ca-w33-cylindrical-20x52x15-mm. Diunduh tanggal 28 Juni 2022 Pukul 21.00 WIB.

Gambar 6.42 (Sumber: kugellager-express.de, 2022) https://www.kugellager-express.de/tapered-roller-bearing-30307-35x80x22-75-mm. Diunduh tanggal 28 Juni 2022 Pukul 21.05 WIB.

Gambar 6.47 (Sumber: Aero Expo/Seca, 2022) https://www.aeroexpo.online/prod/seca/product-187375-64485.html. Diunduh tanggal 28 Juni 2022 Pukul 21.27 WIB.

Gambar 6.51 (Sumber: Teng Tools, 2019) https://tengtoolsusa.com/products/teng-tools-tcmm715n-715-piece-mega-master-tool-kit. Diunduh tanggal 29 Juni 2022 Pukul 5.30 WIB.

Gambar 6.61 (Sumber: AliExpress/MAY OO Store, 2022) https://id.aliexpress.com/item/33022612493.html. Diunduh tanggal 29 Juni 2022 Pukul 5.40 WIB.

Gambar 6.62a (Sumber: manufactum.com, 2022) https://www.manufactum.com/hand-powered-drill-a79143/. Diunduh tanggal 29 Juni 2022 Pukul 6.10 WIB.

Gambar 6.62b (Sumber: malls-365.xyz, 2022) https://www.malls-365.xyz/ProductDetail.aspx?iid=97243150&pr=66.88. Diunduh tanggal 29 Juni 2022 Pukul 6.15 WIB.

Gambar 6.62c (Sumber: Toolstop/Makita, 2022) https://www.toolstop.co.uk/makita-hp0300-10mm-corded-hammer-drill-driver-240v/. Diunduh tanggal 29 Juni 2022 Pukul 6.00 WIB.

Gambar 6.62d (Sumber: aldi.co.uk, 2018) https://www.aldi.co.uk/air-compressor-pneumatic-drill/p/085502245853703. Diunduh tanggal 29 Juni 2022 Pukul 6.05 WIB.

Gambar 6.66a (Sumber: freepngimg.com/Alexis Bailey, 2016) https://freepngimg.com/png/11711-hand-saw-transparent. Diunduh tanggal 29 Juni 2022 Pukul 6.25 WIB.

Gambar 6.66b (Sumber: mis-tools.com, 2021) https://www.mis-tools.com/en-us/keyhole-saw-310-mm-7-dpp/. Diunduh tanggal 29 Juni 2022 Pukul 6.30 WIB.

Gambar 6.67 (Sumber: ubuy.co.id/Yun Chang, 2021) https://www.ubuy.co.id/en/product/FJ6FOA2-aviation-snip-straight-cut-tin-snips-cutting-metal-shears-with-forged-tooth-ripple-blade-cutting-ste. Diunduh tanggal 29 Juni 2022 Pukul 6.35 WIB.

Gambar 6.69 (Sumber: Mitre 10, 2020) https://www.mitre10.co.nz/shop/black-decker-table-saw-1800-watt/p/341453?bvstate=pg:2/ct:r. Diunduh tanggal 29 Juni 2022 Pukul 6.15 WIB.

Gambar 6.70 (Sumber: olympus-ims.com, 2020) https://www.olympus-ims.com/pt/remote-visual-inspection/turning-tools/. Diunduh tanggal 29 Juni 2022 Pukul 7.45 WIB.

Gambar 6.71 (Sumber: sjap.nl, 2020) https://www.sjap.nl/cable-tensioning-tool-737-all/. Diunduh tanggal 29 Juni 2022 Pukul 7.50 WIB

Gambar 6.75 (Sumber: Misumi Indonesia, 2022) https://id.misumi-ec.com/vona2/detail/223000318133/. Diunduh tanggal 29 Juni 2022 Pukul 8.00 WIB

Gambar 6.78 (Sumber: ruparupa.com, 2022) https://www.ruparupa.com/jetech-feeler-gauge-0-04-0-30-mm-9-ukuran.html. Diunduh tanggal 29 Juni 2022 Pukul 8.10 WIB.

Gambar 6.79 (Sumber: boeing.com/Aero Magazine, 2008) https://www.boeing.com/commercial/aeromagazine/articles/qtr_4_08/img/2008Q04_article04_fig01a_lg.gif. Diunduh tanggal 29 Juni 2022 Pukul 9.40 WIB.

Gambar 6.80 (Sumber: TIPS Ground Support Equipment, 2022) https://www.tips-gse.com/passenger-stairs.html. Diunduh tanggal 29 Juni 2022 Pukul 9.50 WIB.

Gambar 6.81 (Sumber: pngwing.com, 2022) https://www.pngwing.com/en/free-png-hhske. Diunduh tanggal 29 Juni 2022 Pukul 9.55 WIB.

Gambar 6.82 (Sumber: TIPS Ground Support Equipment, 2022) https://www.tips-gse.com/gse-products.html?action=article&url=tank1027pr.html. Diunduh tanggal 29 Juni 2022 Pukul 10.05 WIB.

Gambar 6.83 (Sumber: TIPS Ground Support Equipment, 2022) https://www.tips-gse.com/gse-products.html?action=article&url=tank1212lf.html. Diunduh tanggal 29 Juni 2022 Pukul 10.00 WIB.

Gambar 6.84 (Sumber: drallim.com, 2018) https://drallim.com/aircraft-wheel-chocks/. Diunduh tanggal 29 Juni 2022 Pukul 10.15 WIB.

Gambar 6.85 (Sumber: ONS Frankfurt GmbH, 2020) https://ons-frankfurt.com/en/products/ground-power-and-air-launching-units/. Diunduh tanggal 29 Juni 2022 Pukul 10.15 WIB.

Gambar 6.86 (Sumber: airport-suppliers.com, 2021) https://www.airport-suppliers.com/product/cr80-electrical-air-cabin-heater/. Diunduh tanggal 29 Juni 2022 Pukul 10.30 WIB.

Gambar 6.87 (Sumber: Jet Maintenance & Service, 2021) https://myfcloud3.com/JMS/web/JMS/ProductDetails.aspx?WPParams=50C9D4C6C5D2E6BDA5A98197A99AA6. Diunduh tanggal 29 Juni 2022 Pukul 10.30 WIB.

GB6.88 (Sumber: AeroReport Magazine/Monica Weiner, 2022) https://aeroreport.de/en/good-to-know/before-the-flight-taxiing-the-high-art-of-ground-maneuvers. Diunduh tanggal 29 Juni 2022 Pukul 10.50 WIB

Gambar 6.89a (Sumber: Aerospace GSE, 2022) https://www.aerospacegse.com/product/65-ton-floating-fly-away-axle-jack/. Diunduh tanggal 29 Juni 2022 Pukul 11.30 WIB.

Gambar 6.89b (Sumber: Malabar International, 2015) https://malabar.com/product/8882-2/. Diunduh tanggal 29 Juni 2022 Pukul 11.25 WIB.

Gambar 6.90 (Sumber: m.made-in-china.com, 2013) https://m.made-in-china.com/product/150n-Solas-Approved-Automatic-Inflatable-Lifejacket-859934865.html. Diunduh tanggal 29 Juni 2022 Pukul 11.55 WIB.

Glosarium

Aerodinamika: Ilmu pengetahuan mengenai akibat-akibat yang ditimbulkan udara atau gas-gas lain yang bergerak

Atmosfer: Lapisan udara

Airfoil: Permukaan benda yang dirancang untuk mendapatkan gaya angkat dari udara

Airflow: Aliran udara

Angle of Incidence: Sudut pemasangan

Angle of Attack: Sudut serang

APAR: Alat Pemadam Api Ringan

Bising: suara akibat adanya getaran udara yang berasal dari sumber getaran dan sampai pada telinga kita

Boundary Layer: Lapisan batas

Desible (dB): ukuran intensitas suara

Drag: Gaya hambatan

Extinguisher: tabung pemadam kebakaran

Glide Ratio: Rasio luncuran saat mesin *off*

Induced Drag: Komponen mendatar dari gaya angkat yang cenderung sebagai pusaran udara pada *wing tips*

K3: Kesehatan dan Keselamatan Kerja

Lift: Gaya angkat

Leading Edge: Bagian depan sayap

Laminar Flow: Aliran udara halus

Mac: *Maximum allowable concentration*, konsentrasi maksimum yang diperbolehkan suatu unsur pencemar

Normal Turn: Belokan normal dalam lintasan

Parasite Drag: Hambatan yang dihasilkan bagian-bagian lain dari pesawat udara selain *wing*

Pneumoconiosis: penyakit radang paru-paru kronis akibat menghirup debu dalam jangka waktu lama

P3K: Pertolongan Pertama pada Kecelakaan

Stall: Hilangnya daya angkat

Skin Friction: Gesekan permukaan

Slipping Turn: Belokan tergelincir ke arah luar lintasan

Skidding Turn: Belokan tergelincir ke arah dalam lintasan

TLV: *Threshold Limit Value*, konsentrasi rata-rata dari suatu unsur pencemar dalam ruang kerja

Thrust: Gaya dorong

Trailing Edge: Bagian belakang sayap

Turbulen Flow: Aliran udara bergelombang

Weight: Berat

Vortices: Aliran udara berpusar

Indeks

Biodata Pelaku Perbukuan

Profil Penulis



Nama Lengkap : Maruli Tua, S.T., M.Pd.

Email : maruli7104@gmail.com

Instansi : SMKN 29 Jakarta

Alamat Instansi : Jalan Prof. Jokosutono, S.H. No. 1, Jakarta

Bidang Keahlian : Teknologi Pesawat Udara

Riwayat Pekerjaan/Profesi (10 Tahun Terakhir):

1. Guru di SMKN 29 Jakarta

Riwayat Pendidikan dan Tahun Belajar:

1. SDN 09 PT, lulus tahun 1985
2. SMPN 52, lulus tahun 1988
3. SMT Penerbangan Negeri, lulus tahun 1991
4. S1 Teknik Aeronautika, Sekolah Tinggi Teknologi Dirgantara, lulus tahun 1997
5. Akta IV Universitas Terbuka Jakarta, lulus tahun 2001
6. S2 PTK Universitas Negeri Jakarta, lulus tahun 2018

Judul Buku dan Tahun Terbit (10 Tahun Terakhir):

1. Aircraft Structure Jilid 1 (Ditpsmk 2019)
2. Maintenance Practice Semester 3 kelas XI (BE Ditpsmk)
3. Maintenance Practice Semester 4 kelas XI (BE Ditpsmk)

Judul Penelitian dan Tahun Terbit (10 Tahun Terakhir):

1. Tidak ada

Profil Penulis

Nama Lengkap : Ir.Drs. Asep Gunawan , M.T

Email : asepgunawan9966@gmail.com

Instansi : SMKN 29 Jakarta

Alamat Instansi : Jalan Prof. Jokosutono SH no.1, Jakarta

Bidang Keahlian : Teknologi Pesawat Udara



Riwayat Pekerjaan/Profesi (10 Tahun Terakhir):

1. Guru SMKN 29 Jakarta Sejak 1994 - Sekarang

Riwayat Pendidikan dan Tahun Belajar:

1. Universitas Gunadarma, Magister Teknik Mesin Lulus Tahun 2014
2. IKIP Bandung Fakultas Pendidikan Teknologi Dan Kejuruan, Teknik Mesin Paket Teknologi Penerbangan, Lulus Tahun 1992
3. SMAN 2 Tasikmalaya, Lulus Tahun 1986
4. SMPN Cisayong Tasikmalaya Lulus Tahun 1983
5. SDN Cikadu Cisayong Tasikmalaya , Lulus Tahun 1980

Sertifikat /Licence

1. Basic Aircraft Technical Knowledge (BATK)
2. A1 (Airframe Fixed Wing Aircraft)
3. A4 (Gas Turbine Engine)
4. Sertifikasi Guru
5. Assesor Kompetensi Airframe Powerplant
6. Persatuan Insinyur Indonesia (PII) Bidang Kedirgantaraan

Judul Buku dan Tahun Terbit (10 Tahun Terakhir):

1. Airframe Powerplant untuk SMK Penerbangan (For Ditpsmk)

Judul Penelitian dan Tahun Terbit (10 Tahun Terakhir):

1. Tidak ada

Profil Penelaah



Nama Lengkap : Ariasari Anggraeni S.T., M.T.
Email : ariasarianggraeni19@gmail.com
Instansi : SMKN 6 Tangerang
Alamat Instansi : Jl. AMD Manunggal X Rt.006/ Rw.004 Kel. Kedaung Wetan Kec. Neglasari Kota Tangerang
Bidang Keahlian : Teknik Pesawat Udara

Riwayat Pekerjaan/Profesi (10 Tahun Terakhir):

1. Guru
2. Kepala Sekolah

Riwayat Pendidikan dan Tahun Belajar:

1. SDN 2 Iringmulyo Metro Tahun 1990
2. SMPN 2 Metro Tahun 1993
3. SMAN 2 Metro Tahun 1996
4. S1 Universitas Suryadarma Jurusan Teknik Elektro Tahun 2001
5. S2 Institut Sains Dan Teknologi Nasional Jurusan Magister Teknik Elektro Tahun 2005

Judul Buku dan Tahun Terbit (10 Tahun Terakhir):

1. Tidak ada

Judul Penelitian dan Tahun Terbit (10 Tahun Terakhir):

1. Tidak ada

Profil Penelaah



Nama Lengkap : Utsman Syah Amrullah, S.T., M.T.

Email : utsman.syah@polinema.ac.id

Instansi : POLITEKNIK NEGERI MALANG

Alamat Instansi : Jln. Soekarno Hatta No.09 Malang Jatim

Bidang Keahlian : Teknologi Pesawat Udara

Riwayat Pekerjaan/Profesi (10 Tahun Terakhir):

1. Dosen Teknik Mesin dan Teknologi Pemeliharaan Pesawat Udara Politeknik Negeri Malang (2005 – skrg)
2. Asesor LSP Logam Mesin (2010 s/d sekarang)

Riwayat Pendidikan dan Tahun Belajar:

1. Sertifikasi AMTO 147 PT. GMF Aeroasia Basic Certificate A1, A4, lulus 2016
2. S-2Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya Teknik Mesin / Rekayasa Perancangan Manufaktur (RPM), lulus 2007
3. S-1Universitas Brawijaya Malang Teknik Mesin / Konstruksi, lulus 2000

Judul Buku dan Tahun Terbit (10 Tahun Terakhir):

1. Tidak ada

Judul Penelitian dan Tahun Terbit (10 Tahun Terakhir):

1. Rancang Bangun Prototype Sepeda Motor Listrik Tipe BMX 2000 Watt (2022)
2. Karakterisasi Airfoil Komposit Berbahan Limbah Kardus (2018)
3. Pemanfaatan Limbah Kardus sebagai Inti/core Sandwich Composite Metode Vacuum Bagging (2017)
4. Optimalisasi Variasi Volume Resin Komposit Serat Limbah Karung Glangsing (2017)

Profil Penelaah



Nama Lengkap : Aida Fitriyani, S.Pd
Email : aidafitriyani93@gmail.com
Instansi : SMKN 29 Jakarta
Alamat Instansi : Jalan. Prof. Jokosutono, SH, No. 1 Kebayoran Baru - Jakarta Selatan
Bidang Keahlian : Teknik Pesawat Udara-Electrical Avionics

Riwayat Pekerjaan/Profesi (10 Tahun Terakhir):

1. Guru Keterampilan Elektronika di SMP Islam RPI Jakarta Selatan. (2015-2017)
2. Guru Electrical Avionics di SMKN 29 Jakarta (2019-sekarang)

Riwayat Pendidikan dan Tahun Belajar:

1. SDN 02 Pagi Ciganjur (1999-2005)
2. MTs Negeri 4 Jakarta (2005-2008)
3. MAN 7 Jakarta (2008-2011)
4. S1 Pendidikan Teknik Elektronika Universitas Negeri Jakarta (2011-2015)
5. Program Profesi Guru (PPG) Teknik Elektronika (2018-2019)

Judul Buku dan Tahun Terbit (10 Tahun Terakhir):

1. Tidak ada

Judul Penelitian dan Tahun Terbit (10 Tahun Terakhir):

1. Tidak ada

Profil Penelaah



Nama Lengkap : Tri Susilo, ST, MT
Email : aviator_tri@yahoo.com
Instansi : -
Alamat Instansi : -
Bidang Keahlian : -

Riwayat Pekerjaan/Profesi (10 Tahun Terakhir):

1. Senior Auditor of Quality Assurance, PT. Lion Airlines (2019-sekarang).
2. Manager of Planning & Technical Services, PT. Lion Airlines (2016-2019).
3. Powerplant Engineering Specialist, PT. Batam Aero Technic (2007-2016).
4. Ketua Program Studi Teknik Penerbangan, Universitas Dirgantara Marsekal Suryadarma, Jakarta (2006-2007).

Riwayat Pendidikan dan Tahun Belajar:

1. Magister Teknik Mesin, University of Indonesia (2001-2003)
2. Sarjana Teknik Penerbangan, STT Dirgantara (1992-1998)
3. SMT Penerbangan, Jakarta (1989-1992)
4. SMP Negeri 39, Jakarta (1986-1989)
5. SD Negeri 07, Jakarta (1980-1986)

Judul Buku dan Tahun Terbit (10 Tahun Terakhir):

1. Tidak ada

Judul Penelitian dan Tahun Terbit (10 Tahun Terakhir):

1. "The Computational Analysis of Flight Line for Single Stage Rocket Model", January edition, Vol. V - No. 1, 2020, published in the Journal of Aerospace Technology (ISSN 2528-2778), Aerospace University of Air Marshal Suryadarma - Jakarta.
2. "Airflow Simulation with CFD for B737-NG & B737-8 MAX Engine Cowlings", July edition, Vol. IV - No. 2, 2019, published in the Journal of Aerospace Technology (ISSN 2528-2778), Aerospace University of Air Marshal Suryadarma - Jakarta.

Profil Editor



Nama Lengkap : Harris Syamsi Yulianto, S.Si.
Email : harrissyulianto@gmail.com
Instansi : -
Alamat Instansi : Jl. H. Cepit No. 32 RT 01/03 Jatimulya, Cilodong, Kota Depok
Bidang Keahlian : Editing

Riwayat Pekerjaan/Profesi (10 Tahun Terakhir):

1. Editor Freelance dan Wirausaha (2016-sekarang)
2. Editor di Penerbit Puspa Swara (Grup Trubus) (2009-2016)

Riwayat Pendidikan dan Tahun Belajar:

1. S1 Kimia FMIPA Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta (1999-2004)

Judul Buku dan Tahun Terbit (10 Tahun Terakhir):

1. Karhutla, Mencegah & Mengatasi (2020, Multisarana Nusa Persada)
2. Sang Penjaga Hutan (2020, Multisarana Nusa Persada)
3. Bara di Rumah Morita (2020, Multisarana Nusa Persada)
4. Pesan dari Hutan (2020, Multisarana Nusa Persada)
5. Pengerjaan Dasar Teknik Perkapalan Untuk Program Keahlian (C2) SMK/MAK Kelas X (2019, Pusat Perbukuan)
6. Merevitalisasi Desa Mengakhiri Marjinalisasi (2019, Puspa Swara)
7. Selayang Pandang Bina Swadaya (2019, Puspa Swara)
8. Kitab Munajatun Nisa': Doa-Doa Mustajab Khusus Wanita (2019, Kaysa Media)
9. Perkembangan Kelembagaan & Perilaku Usaha Koperasi (2018, Puspa Swara)
10. Dan sebagainya.

Judul Penelitian dan Tahun Terbit (10 Tahun Terakhir):

1. Tidak ada

Profil Editor



Nama Lengkap : Ida Mamluah
Email : kotakpos.ida@gmail.com
Instansi : -
Alamat Instansi : -
Bidang Keahlian : Penerjemahan bahasa Indonesia

Riwayat Pekerjaan/Profesi (10 Tahun Terakhir):

1. Sebagai Penerjemah Freelance untuk Film movie, serial dan dokumenter berbahasa Inggris ke bahasa Indonesia di perusahaan

Riwayat Pendidikan dan Tahun Belajar:

1. Sekolah Menengah Teknologi Penerbangan, Jakarta (1988-1991)
2. Madrasah Tsanawiyah Negeri Satu, Jakarta (1985-1988)
3. Madrasah Unwanul Huda, Kalibata, Jakarta (1979-1985)

Profil Editor



Nama Lengkap : Ahmad Budiman
Email : budimanabm@gmail.com
Instansi : SMKN 29 Jakarta
Alamat Instansi : Jalan Prof. Joko Sutono SH. No.1, Kebayoran Baru Jakarta
Bidang Keahlian : Teknologi Pesawat Udara

Riwayat Pekerjaan/Profesi (10 Tahun Terakhir):

1. Guru SMKN 29 Jakarta 1995 sampai Sekarang

Riwayat Pendidikan dan Tahun Belajar:

1. SD Assalam 1 Bandung, Lulus Tahun 1979
2. SMPN 3 Bandung, Lulus Tahun 1982
3. SMAN 4 bandung, Lulus Tahun 1985
4. FPTK IKIP Bandung, Lulus Tahun 1994

Judul Buku dan Tahun Terbit (10 Tahun Terakhir):

1. Buku Aircraft System 1 untuk SMK Penerbangan, Kemendikbud, 2013
2. Buku Aircraft System 2 untuk SMK Penerbangan, Kemendikbud, 2013

Profil Ilustrator



Nama Lengkap : Daniel Tirta Ramana S.Sn

Email : Danieltirta89@gmail.com

Instansi : -

Alamat Kantor : Bekasi Utara 17124

Bidang Keahlian : Multimedia & Desain

Riwayat Pekerjaan/Profesi (10 Tahun Terakhir):

1. Sevenotes -EO (2010-2011)
2. Apple box - motion graphic (2011-2013)
3. Bloomberg Tv - Motion graphic (2012 - 2015)
4. iNews Tv indonesia - Motion graphic (2015 - 2017)
5. Founder & Owner di @sepatu.capung (shoes store) (2017-sekarang)
6. Local Pride Garage (Media - instagram, tiktok)

Riwayat Pendidikan dan Tahun Belajar:

1. S1: DKV IKJ - Multimedia (2007-2012).

Karya/Pameran/Eksibisi dan Tahun Pelaksanaan (10 Tahun Terakhir):

1. Pameran Tugas Akhir Institut Kesenian Jakarta (2012).

Judul Buku dan Tahun Terbit (10 Tahun Terakhir):

1. Desain dan Ilustrasi Buku Kurikulum 2013

Portofolio dapat dilihat di:

https://www.behance.net/danielDTR

Profil Ilustrator



Nama Lengkap : Rio Ari Seno
Email : purple_smile340@yahoo.co.id
Instansi : Praktisi
Alamat Instansi : Jakarta
Bidang Keahlian : Illustration, Infographic, Graphic Design, Digital Sculpting

Riwayat Pekerjaan/Profesi (10 Tahun Terakhir):

1. Senior Graphic Designer di PT Tempo Inti Media Tbk (2013-Present)

Riwayat Pendidikan dan Tahun Belajar:

1. S1 Fakultas Seni Rupa IKJ – DKV (2005-2011)

Informasi Lain Ilustrator

1. https://www.behance.net/rioariseno
2. http://artstation.com/rioariseno

Profil Ilustrator



Nama Lengkap : M. Agung Prabowo, S.Pd., M.Pd.
Email : 07agung1990@gmail.com
Instansi : SMK Negeri 29 Jakarta
Alamat Instansi : Jl. Prof. Joko Sutono SH No.1, Jakarta.
Bidang Keahlian : Teknik Pesawat Udara

Riwayat Pekerjaan/Profesi (10 Tahun Terakhir):

1. Service Advisor (2011-2013)
2. Guru (2013-2021)

Riwayat Pendidikan dan Tahun Belajar:

1. S-1 Pendidikan Teknik Mesin Univ. Negeri Jakarta (UNJ) Lulus 2012
2. PPG (Pendidikan Profesi Guru) Bidang keahlian Teknik Pesawat Udara STPI
3. S-2 Pendidikan Teknologi Kejuruan konsentrasi Teknik Mesin di Univ. Negeri Jakarta (UNJ)

Judul Buku dan Tahun Terbit (10 Tahun Terakhir):

1. Buku Pegangan PPG Teknik Pesawat Udara tahun 2021
2. Buku BATK tahun 2019 Penerbit El-Markazi Isbn: 978-623-7207-67-2
3. Buku Gas Turbine Engine 2018 Penerbit Alramedia Isbn: 978-602-5696-07-7
4. Buku Gas Turbine Engine semester 3 kelas XI (BSE DitpSMK) 2015
5. Buku Gas Turbine Engine semester 4 kelas XI (BSE DitpSMK) 2015

Judul Penelitian dan Tahun Terbit (10 Tahun Terakhir):

1. Prosiding SNMTK Mesin UNJ-Analyze of manufacturing process in ECU box Storage 2015
2. Prosiding ICTVET UNJ-The Importance of English for Graduate Students of Vocational School Majoring Aircraft Engineering 2015
3. Prosiding SNMTK Mesin UNJ-Rancang Bangun Mesin Las Potong Portable Straight Line 2014

Profil Desainer



Nama Lengkap : Achmad Syarif, S.T.
Email : syarif.achmad9@gmail.com
Instansi : Independen
Alamat Instansi : Tanah Merdeka No. 22 Jakarta
Bidang Keahlian : Desain Grafis, Multimedia

Riwayat Pekerjaan/Profesi (10 Tahun Terakhir):

1. Desainer Merdeka Labelindo Group (2009-Sekarang)

Riwayat Pendidikan dan Tahun Belajar:

1. S1 Teknik Industri, UPI YAI, 2015